

# **Ingeniería del Conocimiento**

# Índice

Ingeniería del Conocimiento .....	1
Índice .....	2
1 Los Métodos para la Resolución de Problemas .....	7
1.1 Clasificación heurística .....	8
1.1.1 Algoritmo 1: Clasificación heurística dirigida por los datos .....	8
Estructura del método .....	8
Organización del conocimiento .....	9
Estructura de inferencia .....	10
Pasos de inferencia considerados .....	10
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia .....	11
Algoritmo .....	11
1.1.2 Algoritmo 2: Clasificación heurística dirigida por objetivos .....	12
Estructura del método .....	12
Organización del conocimiento .....	13
Estructura de inferencia .....	14
Pasos de inferencia considerados .....	14
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia .....	15
Algoritmo .....	15
1.1.3 Algoritmo 3: Clasificación jerárquica .....	16
Estructura del método .....	16
Organización del conocimiento .....	17
Estructura de inferencia .....	18
Pasos de inferencia considerados .....	18
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia .....	18
Algoritmo .....	19
Ejemplos .....	19
Diagnóstico de enfermedades epáticas .....	19
1.1.4 Algoritmo 4: Clasificación jerárquica dirigida por los datos .....	20
Estructura del método .....	20
Organización del conocimiento .....	21
Estructura de inferencia .....	22
Pasos de inferencia considerados .....	22
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia .....	23
Algoritmo .....	23
1.2 Diagnóstico basado en modelos .....	25
1.2.1 Algoritmo 1: Cubrir y diferenciar .....	25
Estructura del método .....	25
Organización del conocimiento .....	26
Estructura de inferencia .....	27
Pasos de inferencia considerados .....	27
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia .....	28
Algoritmo .....	29
Ejemplos .....	29
Ejemplo de aproximación .....	29
Diagnóstico en una planta térmica .....	33
1.2.2 Algoritmo 2: Diagnóstico basado en modelo de componentes .....	41
Estructura del método .....	41

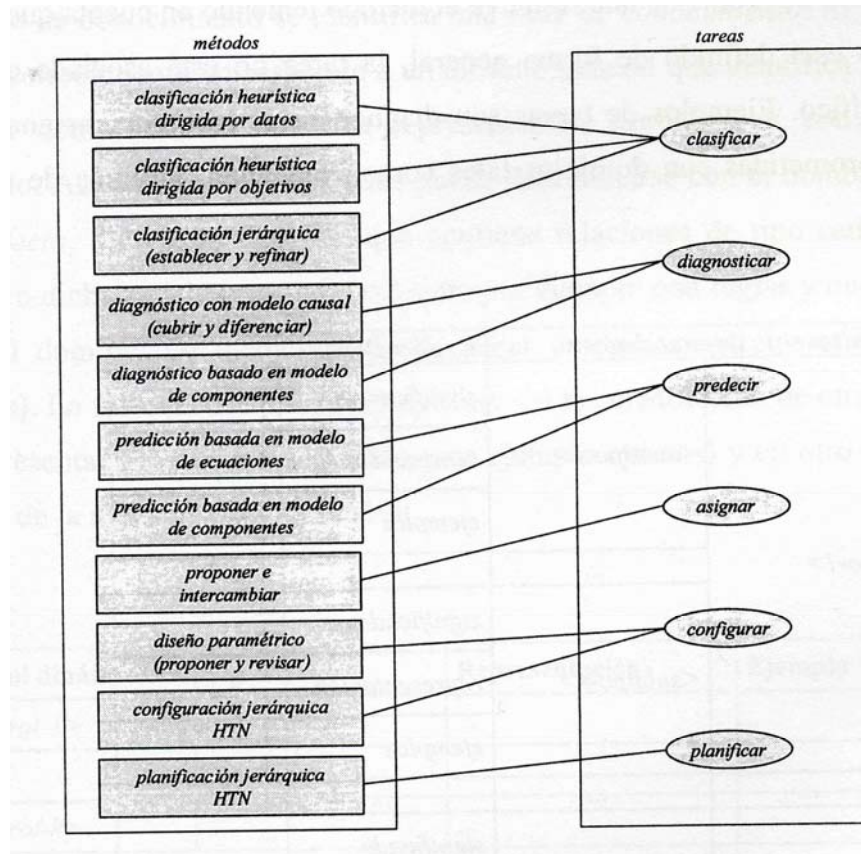
Organización del conocimiento .....	41
Estructura de inferencia .....	42
Pasos de inferencia considerados .....	42
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia.....	43
Algoritmo .....	43
Ejemplos .....	44
Diagnóstico en un circuito digital.....	44
Diagnóstico en circuito con probabilidades de fallo .....	44
1.3    Diseño paramétrico.....	50
1.3.1    Algoritmo 1: Proponer y revisar.....	50
Estructura del método .....	50
Organización del conocimiento .....	51
Estructura de inferencia .....	51
Pasos de inferencia considerados .....	52
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia.....	52
Algoritmo .....	53
Ejemplos .....	53
Ejemplo de aproximación.....	53
1.3.2    Algoritmo 2: Proponer e intercambiar.....	57
Estructura del método .....	57
Organización del conocimiento .....	57
Estructura de inferencia .....	57
Pasos de inferencia considerados .....	57
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia.....	58
Algoritmo .....	59
1.4    Planificación jerárquica HTM .....	60
1.4.1    Algoritmo 1: Planificación jerárquica HTM .....	60
Estructura del método .....	60
Organización del conocimiento .....	60
Estructura de inferencia .....	61
Pasos de inferencia considerados .....	61
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia.....	61
Algoritmo .....	62
Ejemplos .....	62
Ejemplo de aproximación.....	62
1.4.2    Algoritmo 2: Configuración jerárquica HTM.....	68
Estructura del método .....	68
Organización del conocimiento .....	68
Estructura de inferencia .....	68
Pasos de inferencia considerados .....	69
Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia.....	69
Algoritmo .....	69
2    Adquisición del Conocimiento .....	70
2.1    Tipos de conocimiento.....	70
2.1.1    Desarrollo de “expertise” o conocimiento experto.....	70
2.1.2    Diferencias cognitivas entre aprendices y expertos.....	71
2.2    Sistemas expertos .....	71
2.2.1    Tipos de tareas que resuelve un sistema experto.....	72
Problema de clasificación.....	72
Sistema para algún tipo de acción .....	72

Sistema de diseño .....	72
Sistema de planificación .....	72
Sistema de monitorización .....	72
Enseñanza .....	72
Control .....	72
2.3 Fases en la adquisición del conocimiento .....	73
2.3.1 Fase 1: Identificación de la tarea .....	73
Plan de requisitos .....	73
Estudio de la viabilidad .....	73
Plausibilidad .....	73
Justificación .....	73
Adecuación del sistema al problema .....	73
Anticipar el éxito del sistema .....	73
Definición de tareas .....	74
2.3.2 Fase 2: Desarrollo de los prototipos .....	74
2.3.3 Fase 3: Ejecución .....	74
2.3.4 Fase 4: Mantenimiento .....	74
2.3.5 Fase 5: Transferencia .....	74
2.4 Técnicas en la adquisición de conocimiento .....	75
2.4.1 Educción .....	75
Trabajo de educación .....	75
Sesiones .....	75
Individual .....	76
Entrevistas .....	76
Entrevista abierta .....	76
Entrevista estructurada .....	76
Observación de tareas habituales .....	77
Cuestionarios .....	77
Emparrillado (Repertory Grid) .....	77
Introducción .....	77
Modelo mental .....	79
Fases del emparrillado .....	79
Ventajas e inconvenientes del emparrillado .....	79
Ventajas .....	79
Inconvenientes .....	79
Parrilla .....	79
Ejemplo .....	81
Análisis de protocolos .....	87
Etapas en el Análisis de Protocolos .....	88
Ejemplo .....	88
Paso 1: Grabación del protocolo .....	88
Paso 2: Transcripción del protocolo .....	89
Paso 3: Codificación del protocolo .....	90
Paso 4: Interpretación .....	97
En gupo .....	98
Adaptación del emparrillado .....	98
Brainstorming .....	99
Fases .....	99
Técnica nominal de grupo .....	99
Entrevistas de grupo .....	99

Ventajas .....	99
Método Delphi .....	100
Proceso Delphi .....	100
Método RAND .....	101
Problemas .....	101
Con ordenadores .....	101
Editores inteligentes .....	102
Sistemas informáticos de adquisición interactiva .....	102
Técnicas automáticas .....	102
TEIRESIAS .....	102
Metas .....	103
Adquisición en TEIRESIAS .....	103
Modelo de TEIRESIAS .....	104
KDD. Minería de datos .....	104
Pasos .....	105
Datos .....	106
Falta de datos .....	106
Integración de datos .....	106
Data Warehouse .....	107
Estrategias de reducción de datos .....	108
Data Mining .....	109
Técnicas .....	109
Médidas de interés en el DM .....	110
Anomalías de reglas .....	110
Razonamiento basado en casos .....	111
Tipos de razonamiento .....	112
Clasificativo .....	112
Constructivo .....	112
Estructura del modelo .....	112
Conocimiento de adaptación .....	113
Ejemplo .....	113
2.4.2 Extracción (Fuentes de conocimiento) .....	114
2.5 Análisis de la adquisición de conocimiento .....	114
3 Ontologías .....	115
3.1 Metadatos .....	116
3.2 Vocabularios y terminologías .....	116
3.3 Web semántica .....	116
3.3.1 Características de la Web semántica .....	116
3.3.2 Web actual vs. Web semántica .....	117
3.3.3 Futuro de las ontologías .....	117
3.4 Meta-ontología .....	117
3.5 Ontología .....	117
3.5.1 Definición .....	118
3.5.2 Componentes de una ontología .....	118
Conceptos .....	118
Propiedades .....	118
Relacion .....	119
Taxonomía .....	119
Axioma .....	119
Clase .....	119

Propiedades de la clase (Slots) .....	119
Herencia de clases .....	120
Instancia.....	120
Terminología .....	120
Vocabulario .....	121
3.5.3 Tipos de ontologías.....	121
Ejemplos .....	121
3.5.4 Editores.....	122
3.5.5 Lenguajes de ontologías .....	122
Evolución de los lenguajes de ontologías.....	122
3.5.6 Método de construcción de ontologías .....	124
Pasos para la construcción de ontologías .....	124
Paso 1.....	124
Paso 2.....	124
Paso 3.....	124
Paso 4.....	124
Ciclo de vida.....	125
Criterios de diseño .....	125
Posibles errores en las ontologías.....	125
3.5.7 Aplicaciones .....	125

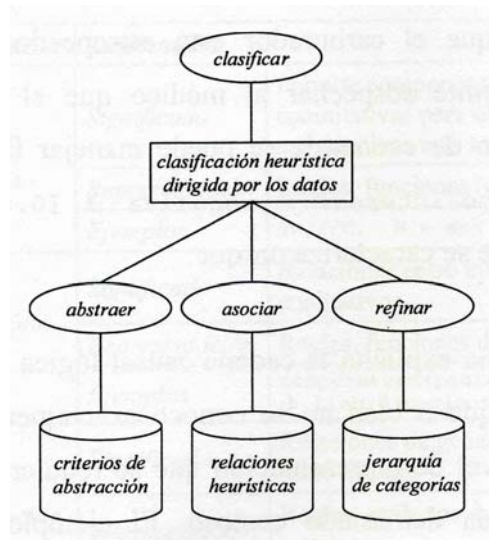
# 1 Los Métodos para la Resolución de Problemas



## ***1.1 Clasificación heurística***

### **1.1.1 Algoritmo 1: Clasificación heurística dirigida por los datos**

#### **Estructura del método**



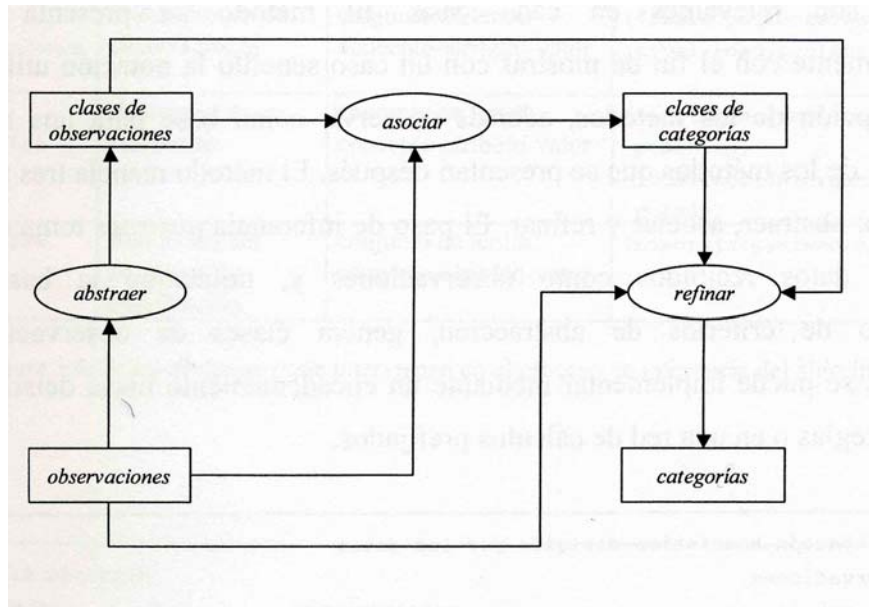


**Organización del conocimiento<sup>1</sup>**

Tipo/subtipo de conocimiento		Explicación	
Criterios de abstracción	Agregación cuantitativa	Significado	Permite componer valores de variables cuantitativas para obtener valores de variables cuantitativas más representativas
		Representación	Reglas, funciones (aritméticas, estadísticas, etc.)
		Ejemplos	$S= I/C$ , $M = \max (V1,V2,V3,V4)$
	Interpretación cualitativa	Significado	Relaciones entre intervalos numéricos y valores cualitativos
		Representación	Reglas, funciones de posibilidad (fuzzy)
		Ejemplos	temperatura(paciente) > 39 → fiebre(paciente) = alta
	Generalización	Significado	Relaciones de generalización de tipo “es-un” entre hechos
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	mes = agosto → estación = verano
	Definiciones	Significado	Relaciones que expresan definiciones de hechos a partir de otros hechos
		Representación	Reglas
		Ejemplos	nivel(leucocitos) = bajo → síntoma(paciente) = leucopenia
Relaciones heurísticas		Significado	Relaciones entre clases de observaciones y clases de categorías, basada en juicios subjetivos derivados de la experiencia. Expresan condiciones que deben cumplirse sobre características que son parte de una categoría para que se pueda confirmar o rechazar.
		Representación	Reglas, marcos, medidas de incertidumbre
		Ejemplos	tendencia (tipo-interés) = negativa → [0.8] recomendación(inversión) = bolsa
Jerarquía de categorías		Significado	Estructura jerárquica del espacio de categorías en niveles de generalidad
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	clase(deporte) = aire-libre, preferencia(individuo) = montaña → recomendación(deporte) = esquí

<sup>1</sup> Es la misma para todos los algoritmos de clasificación heurística.

## Estructura de inferencia



## Pasos de inferencia considerados

### INFERENCIA abstraer

DATOS: observaciones  
 BASES DE CONOCIMIENTO: criterios-de-abstracción  
 RESULTADOS: clases-observaciones

### INFERENCIA asociar

DATOS: observaciones, clases-observaciones  
 BASES DE CONOCIMIENTO: relaciones-heurísticas  
 RESULTADOS: clases-categorías

### INFERENCIA refinar

DATOS: observaciones, clases-observaciones, clases-categorías  
 BASES DE CONOCIMIENTO: jerarquía-de-categorías  
 RESULTADOS: categorías

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
observaciones	datos observados utilizados como información de entrada	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{temperatura(paciente)=40, edad(paciente)=40, sexo(paciente)=varón}
clases-observaciones	abstracciones de observaciones	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{fiebre(paciente)=alta, nivel-edad(paciente)=adulto}
clases-categorías	abstracciones de categorías	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{tipo(organismo)=gram-positivo, localización(organismo)=pulmón}
categorías	soluciones del problema de clasificación	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{nombre(organismo)=E-coli}

**Algoritmo**

```

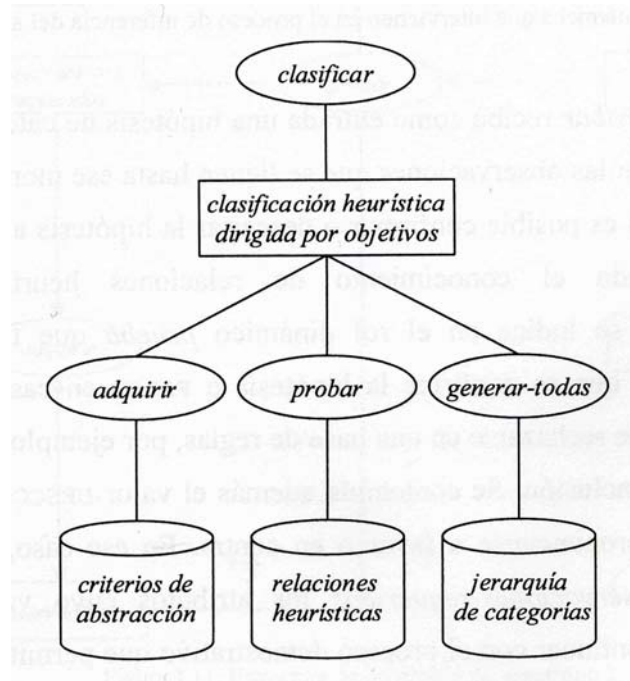
METODO clasificación-heurística-dirigida-por-los-datos
  DATOS: observaciones
  RESULTADOS: categorías

ALGORITMO
1. abstraer(observaciones -> clases-observaciones)
2. asociar(observaciones, clases-observaciones -> clases-categorías)
3. refinar(observaciones, clases-observaciones, clases-categorías -> categorías)

```

### 1.1.2 Algoritmo 2: Clasificación heurística dirigida por objetivos

#### Estructura del método



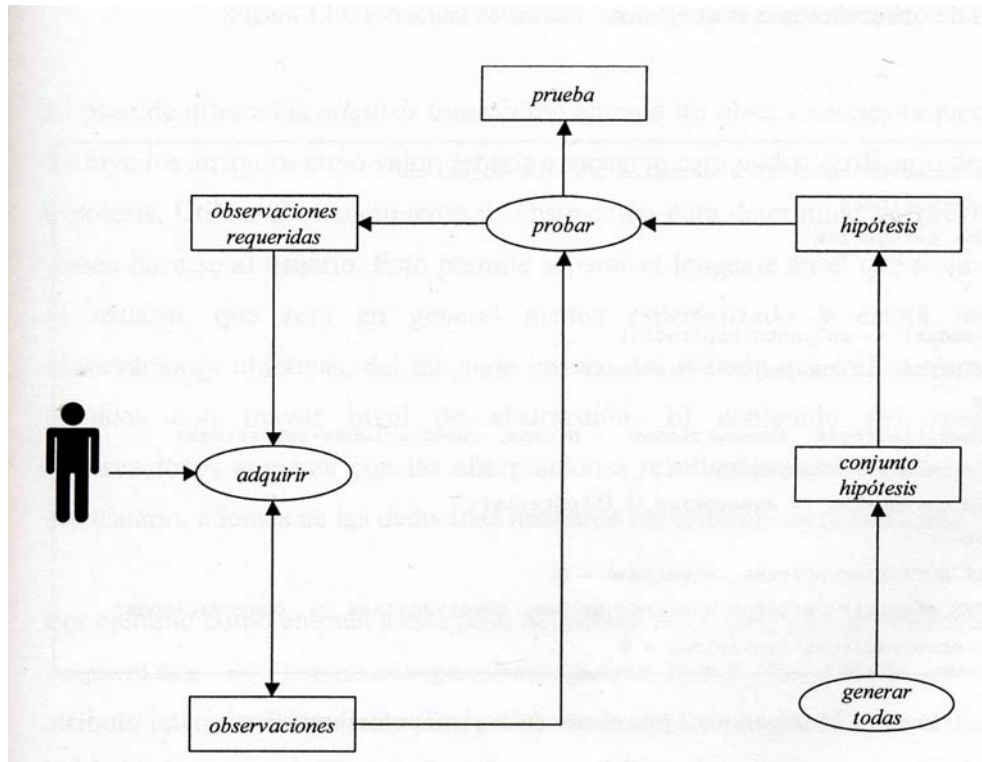


**Organización del conocimiento<sup>2</sup>**

Tipo/subtipo de conocimiento		Explicación	
Criterios de abstracción	Agregación cuantitativa	Significado	Permite componer valores de variables cuantitativas para obtener valores de variables cuantitativas más representativas
		Representación	Reglas, funciones (aritméticas, estadísticas, etc.)
		Ejemplos	$S= I/C$ , $M = \max (V1,V2,V3,V4)$
	Interpretación cualitativa	Significado	Relaciones entre intervalos numéricos y valores cualitativos
		Representación	Reglas, funciones de posibilidad (fuzzy)
		Ejemplos	temperatura(paciente) > 39 → fiebre(paciente) = alta
	Generalización	Significado	Relaciones de generalización de tipo “es-un” entre hechos
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	mes = agosto → estación = verano
	Definiciones	Significado	Relaciones que expresan definiciones de hechos a partir de otros hechos
		Representación	Reglas
		Ejemplos	nivel(leucocitos) = bajo → síntoma(paciente) = leucopenia
Relaciones heurísticas		Significado	Relaciones entre clases de observaciones y clases de categorías, basada en juicios subjetivos derivados de la experiencia. Expresan condiciones que deben cumplirse sobre características que son parte de una categoría para que se pueda confirmar o rechazar.
		Representación	Reglas, marcos, medidas de incertidumbre
		Ejemplos	tendencia (tipo-interés) = negativa → [0.8] recomendación(inversión) = bolsa
Jerarquía de categorías		Significado	Estructura jerárquica del espacio de categorías en niveles de generalidad
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	clase(deporte) = aire-libre, preferencia(individuo) = montaña → recomendación(deporte) = esquí

<sup>2</sup> Es la misma para todos los algoritmos de clasificación heurística.

## Estructura de inferencia



## Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA generar-todas	
DATOS:	-
BASES DE CONOCIMIENTO:	jerarquía-de-categorías
RESULTADOS:	conjunto-hipótesis
INFERENCIA probar	
DATOS:	hipótesis, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-heurísticas
RESULTADOS:	prueba, observaciones-requeridas
INFERENCIA adquirir	
DATOS:	observaciones-requeridas, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	criterios-de-abstracción
RESULTADOS:	observaciones

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
observaciones	datos observados utilizados como información de entrada del problema de clasificación	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{temperatura(paciente)=40, sexo=varón(paciente), fiebre(paciente)=alta, nivel-edad(paciente)=adulto}
observaciones-requeridas	observaciones (o clases de observaciones) que deben ser consultadas al usuario	conjunto de pares concepto-atributo	{fiebre(paciente)}
conjunto-hipótesis	conjunto de hipótesis de categorías	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{nombre(organismo)=E-coli, nombre(organismo)=Pseudomona}
prueba	resultado de la prueba de la hipótesis	valor de {VERDADERO, FALSO, DESCONOCIDO}	VERDADERO
hipótesis	una hipótesis de categoría	terna concepto-atributo-valor	nombre(organismo)=E-coli
categorías	soluciones del problema de clasificación	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{nombre(organismo)=E-coli}

**Algoritmo**

```

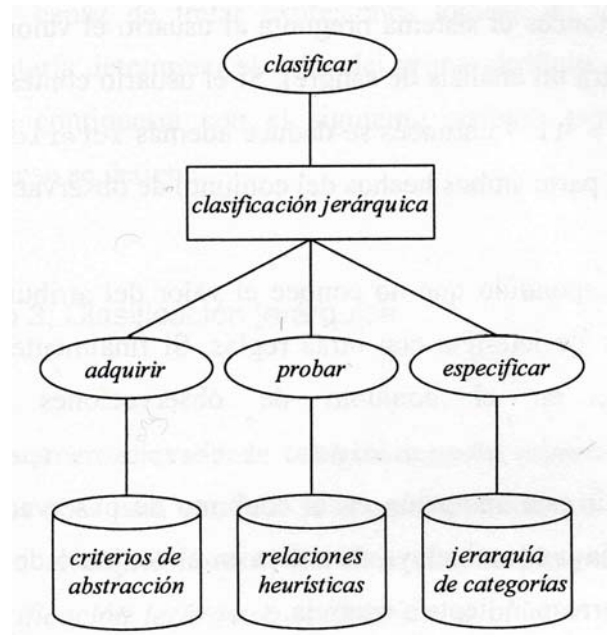
METODO clasificacion-heurística-dirigida-por-los-objetivos
  DATOS: observaciones
  RESULTADOS: categorías

ALGORITMO
1. generar-todas( -> conjunto-hipótesis)
2. FOR-EACH hipótesis IN conjunto-hipótesis DO
3.   REPEAT
4.     probar(hipótesis, observaciones -> prueba, observaciones-requeridas)
5.     IF prueba = VERDADERO
6.       THEN categorías := categorías U {hipótesis}
7.     ELSE
8.       IF NOT(observaciones-requeridas =  $\phi$ )
9.         THEN adquirir(observaciones-requeridas, observaciones -> observaciones)
10.  UNTIL observaciones-requeridas =  $\phi$ 

```

### 1.1.3 Algoritmo 3: Clasificación jerárquica

#### Estructura del método



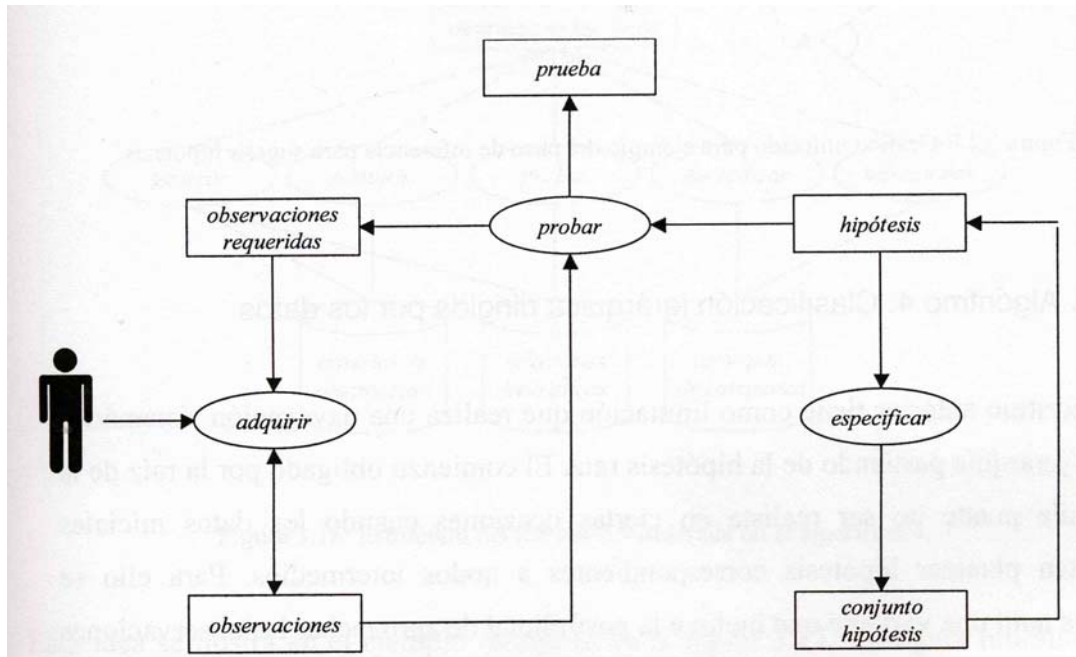


**Organización del conocimiento<sup>3</sup>**

Tipo/subtipo de conocimiento		Explicación	
Criterios de abstracción	Agregación cuantitativa	Significado	Permite componer valores de variables cuantitativas para obtener valores de variables cuantitativas más representativas
		Representación	Reglas, funciones (aritméticas, estadísticas, etc.)
		Ejemplos	$S= I/C$ , $M = \max (V1,V2,V3,V4)$
	Interpretación cualitativa	Significado	Relaciones entre intervalos numéricos y valores cualitativos
		Representación	Reglas, funciones de posibilidad (fuzzy)
		Ejemplos	temperatura(paciente) > 39 → fiebre(paciente) = alta
	Generalización	Significado	Relaciones de generalización de tipo “es-un” entre hechos
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	mes = agosto → estación = verano
	Definiciones	Significado	Relaciones que expresan definiciones de hechos a partir de otros hechos
		Representación	Reglas
		Ejemplos	nivel(leucocitos) = bajo → síntoma(paciente) = leucopenia
Relaciones heurísticas		Significado	Relaciones entre clases de observaciones y clases de categorías, basada en juicios subjetivos derivados de la experiencia. Expresan condiciones que deben cumplirse sobre características que son parte de una categoría para que se pueda confirmar o rechazar.
		Representación	Reglas, marcos, medidas de incertidumbre
		Ejemplos	tendencia (tipo-interés) = negativa → [0.8] recomendación(inversión) = bolsa
Jerarquía de categorías		Significado	Estructura jerárquica del espacio de categorías en niveles de generalidad
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	clase(deporte) = aire-libre, preferencia(individuo) = montaña → recomendación(deporte) = esquí

<sup>3</sup> Es la misma para todos los algoritmos de clasificación heurística.

## Estructura de inferencia



## Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA especificar	
DATOS:	hipótesis
BASES DE CONOCIMIENTO:	jerarquía-de-categorías
RESULTADOS:	conjunto-hipótesis
INFERENCIA probar	
DATOS:	hipótesis, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-heurísticas
RESULTADOS:	prueba, observaciones-requeridas
INFERENCIA adquirir	
DATOS:	observaciones-requeridas, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	criterios-de-abstracción
RESULTADOS:	observaciones

## Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia

## Algoritmo

```
METODO clasificación-jerárquica
  DATOS: observaciones
  RESULTADOS: categorías

ALGORITMO
1. hipótesis := nodo raíz de la jerarquía de categorías
2. categorías :=  $\phi$ 
3. establecer(hipótesis, categorías, observaciones -> categorías, observaciones)

PROCEDIMIENTO establecer
  DATOS: hipótesis, categorías, observaciones
  RESULTADOS: categorías, observaciones
1. REPEAT
2.   probar(hipótesis, observaciones -> prueba, observaciones-requeridas)
3.   IF prueba = VERDADERO
4.     THEN
5.       refinar(hipótesis, categorías, observaciones -> categorías, observaciones)
4.   ELSE
5.     IF NOT(observaciones-requeridas =  $\phi$ )
6.       THEN adquirir(observaciones-requeridas, observaciones -> observaciones)
7. UNTIL observaciones-requeridas =  $\phi$ 

PROCEDIMIENTO refinar
  DATOS: hipótesis, categorías, observaciones
  RESULTADOS: categorías, observaciones)
1. especificar(hipótesis -> conjunto-hipótesis)
2. IF conjunto-hipótesis =  $\phi$ 
3. THEN categorías := categorías U {hipótesis}
4. ELSE FOR-EACH hipótesis IN conjunto-hipótesis DO
5.   establecer (hipótesis, categorías, observaciones -> categorías, observaciones)
```

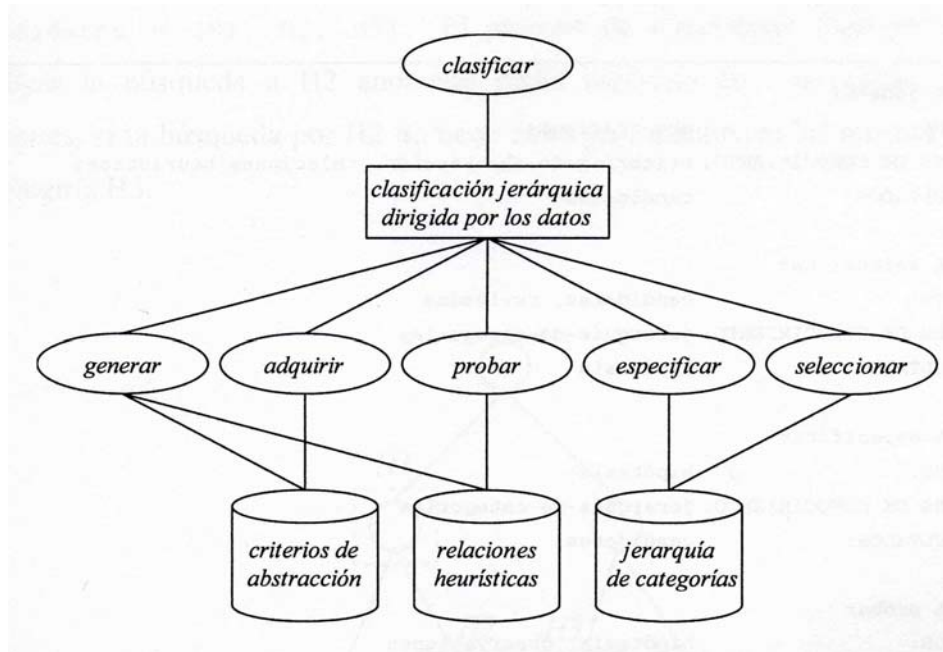
## Ejemplos

### *Diagnóstico de enfermedades epáticas*

(página 107 del libro)

### 1.1.4 Algoritmo 4: Clasificación jerárquica dirigida por los datos

#### Estructura del método



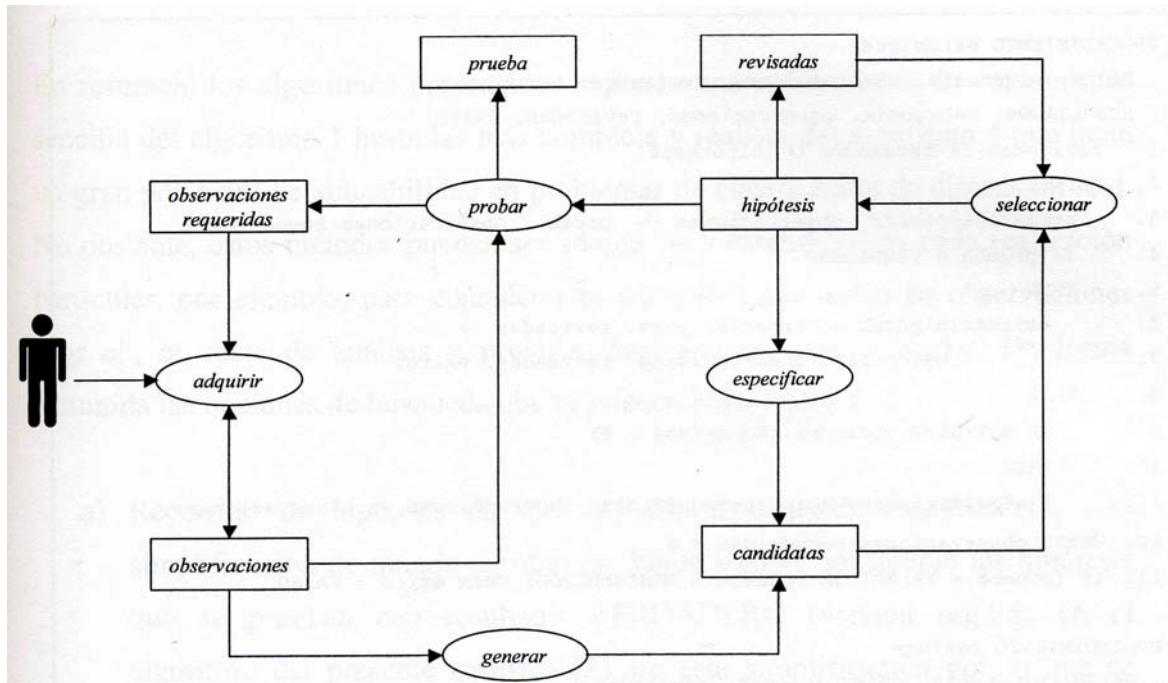


**Organización del conocimiento<sup>4</sup>**

Tipo/subtipo de conocimiento		Explicación	
Criterios de abstracción	Agregación cuantitativa	Significado	Permite componer valores de variables cuantitativas para obtener valores de variables cuantitativas más representativas
		Representación	Reglas, funciones (aritméticas, estadísticas, etc.)
		Ejemplos	$S= I/C$ , $M = \max (V1,V2,V3,V4)$
	Interpretación cualitativa	Significado	Relaciones entre intervalos numéricos y valores cualitativos
		Representación	Reglas, funciones de posibilidad (fuzzy)
		Ejemplos	temperatura(paciente) > 39 → fiebre(paciente) = alta
	Generalización	Significado	Relaciones de generalización de tipo “es-un” entre hechos
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	mes = agosto → estación = verano
	Definiciones	Significado	Relaciones que expresan definiciones de hechos a partir de otros hechos
		Representación	Reglas
		Ejemplos	nivel(leucocitos) = bajo → síntoma(paciente) = leucopenia
Relaciones heurísticas		Significado	Relaciones entre clases de observaciones y clases de categorías, basada en juicios subjetivos derivados de la experiencia. Expresan condiciones que deben cumplirse sobre características que son parte de una categoría para que se pueda confirmar o rechazar.
		Representación	Reglas, marcos, medidas de incertidumbre
		Ejemplos	tendencia (tipo-interés) = negativa → [0.8] recomendación(inversión) = bolsa
Jerarquía de categorías		Significado	Estructura jerárquica del espacio de categorías en niveles de generalidad
		Representación	Reglas, atributos de conceptos, relaciones en marcos
		Ejemplos	clase(deporte) = aire-libre, preferencia(individuo) = montaña → recomendación(deporte) = esquí

<sup>4</sup> Es la misma para todos los algoritmos de clasificación heurística.

## Estructura de inferencia



## Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA generar	
DATOS:	observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	criterios-de-abstracción, relaciones-heurísticas
RESULTADOS:	candidatas
INFERENCIA seleccionar	
DATOS:	candidatas, revisadas
BASES DE CONOCIMIENTO:	jerarquía-de-categorías
RESULTADOS:	hipótesis
INFERENCIA especificar	
DATOS:	hipótesis
BASES DE CONOCIMIENTO:	jerarquía-de-categorías
RESULTADOS:	candidatas
INFERENCIA probar	
DATOS:	hipótesis, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-de-asociación
RESULTADOS:	prueba, observaciones-requeridas
INFERENCIA adquirir	
DATOS:	observaciones-requeridas, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-de-abstracción
RESULTADOS:	observaciones

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
observaciones	datos observados utilizados como información de entrada del problema de clasificación	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{temperatura(paciente)=40, sexo(paciente)=varón, fiebre(paciente)=alta, nivel-edad(paciente)=adulto}
observaciones-requeridas	observaciones (o clases de observaciones) que deben ser consultadas al usuario	conjunto de pares concepto-atributo	{fiebre(paciente)}
hipótesis	una hipótesis de categoría	terna concepto-atributo-valor	nombre(organismo)=E-coli
candidatas	conjunto de hipótesis de categoría candidatas	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{nombre(organismo)=E-coli, nombre(organismo)=pseudomona}
revisadas	conjunto de hipótesis que han sido ya estudiadas y que no deben considerarse candidatas	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{nombre(organismo)=E-coli, nombre(organismo)=pseudomona}
prueba	resultado de la prueba de la hipótesis	valor de {VERDADERO, FALSO, DESCONOCIDO}	VERDADERO
éxito	indica si ha tenido éxito la búsqueda de la solución	valor de {VERDADERO, FALSO}	VERDADERO
categoría	solución del problema de clasificación	terna concepto-atributo-valor	nombre(organismo)=E-coli

**Algoritmo**

METODO clasificacion-jerárquica-dirigida-por-datos

DATOS: observaciones

RESULTADOS: categoría, éxito

ALGORITMO

1.  $revisadas := \emptyset$
2. **generar**(observaciones -> candidatas)
3. **seleccionar**(candidatas, revisadas -> hipótesis)
4. establecer(hipótesis, observaciones, revisadas ->
5.                   categoría, observaciones, revisadas, éxito)



```
PROCEDIMIENTO establecer
  DATOS: hipótesis, observaciones, revisadas
  RESULTADOS: categoría, observaciones, revisadas, éxito
1.  revisadas := revisadas U {hipótesis}
2.  REPEAT
3.    probar(hipótesis, observaciones -> prueba, observaciones-requeridas)
4.    IF prueba = VERDADERO
5.      THEN
6.        refinar(hipótesis, observaciones, revisadas ->
7.          categoría, observaciones, revisadas, éxito)
8.      ELSE
9.        IF NOT(observaciones-requeridas =  $\emptyset$ )
10.       THEN
11.         adquirir(observaciones-requeridas, observaciones -> observaciones)
12.  UNTIL observaciones-requeridas =  $\emptyset$ 
13. IF (prueba = FALSO) OR (prueba = DESCONOCIDO) THEN éxito = FALSO

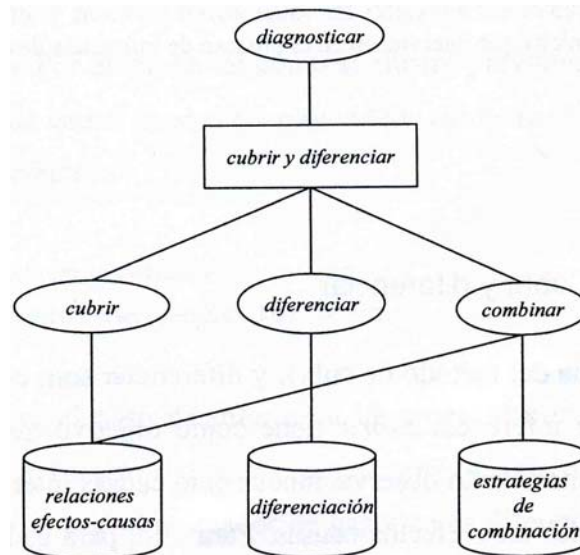
PROCEDIMIENTO refinar
  DATOS: hipótesis, observaciones, revisadas
  RESULTADOS: categoría, observaciones, revisadas, éxito
1.  especificar(hipótesis -> candidatas)
2.  IF candidatas =  $\emptyset$ 
3.    THEN
4.      categoría := hipótesis
5.      éxito := VERDADERO
6.    ELSE
7.      generar(observaciones -> H)
8.      candidatas := candidatas U H
9.      REPEAT
10.     seleccionar(candidatas, revisadas -> hipótesis)
11.     establecer(hipótesis, observaciones, revisadas ->
12.       categoría, observaciones, revisadas, éxito)
13.  UNTIL (éxito = VERDADERO) OR (candidatas SUBSET-OF revisadas)
```



## ***1.2 Diagnóstico basado en modelos***

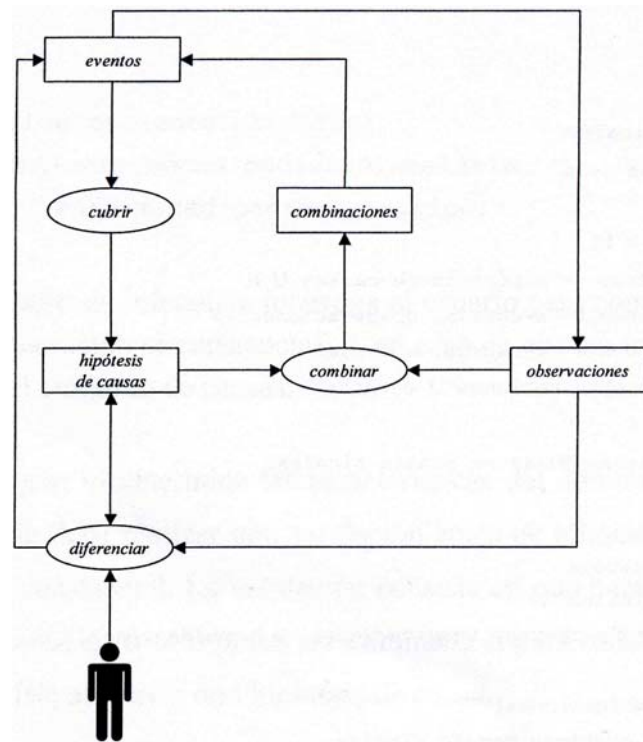
### **1.2.1 Algoritmo 1: Cubrir y diferenciar**

#### **Estructura del método**



**Organización del conocimiento**

Tipo/subtipo de conocimiento		Explicación	
Relaciones efectos-causas		Significado	Indican para cada síntoma (o causa intermedia) las posibles causas que lo explican
		Representación	Reglas
		Ejemplos	nivel(transaminasa-GOT) = alto → enfermedad(paciente) = hepatitis
Diferencia- ción	Relaciones causas-efectos	Significado	Indican la necesidad de observar un cierto hecho para cuando se presente una cierta causa
		Representación	Reglas
		Ejemplos	depósito-gasolina(vehículo) = vacío → marcador-gasolina(vehículo) = cero
	Conocimiento circunstancial	Significado	Credibilidad y preferencia de las hipótesis independientemente de los síntomas teniendo en cuenta únicamente observaciones circunstanciales
		Representación	Reglas, tablas de probabilidad
		Ejemplos	localización(paciente)=tropical →PREFERIR(enfermedad(paciente)=malaria, enfermedad(paciente)=gripe)
	Refino	Significado	Indica la necesidad de refinar un síntoma preguntando información de más detalle sobre dicho síntoma, lo que permite discriminar mejor entre un grupo de hipótesis.
		Representación	Reglas
		Ejemplos	estado(motor) = no-arranca y avería(vehículo) = {batería-descargada, fallo-carburador, depósito-vacío} → PREGUNTAR(sonido(motor-arranque))
	Cualificación	Significado	Condiciones que pueden anular relaciones efectos-causas.
		Representación	Reglas
		Ejemplos	fiebre(paciente)=alta y nivel(PSA)=alto → NO-EVOCA(fiebre(paciente)=alta, enfermedad=infección-vírica)
Estrategias de combinación		Significado	Excepciones al principio de parquedad para generación de combinaciones
		Representación	Reglas
		Ejemplos	exceso(aire)=bajo y ajuste(radiación) = desequilibrio y ajuste(convención) = desequilibrio → COMBINAR (ajuste(radiación)=desequilibrio, ajuste(convención)=desequilibrio)

**Estructura de inferencia****Pasos de inferencia considerados**

INFERENCIA cubrir	
DATOS:	eventos
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-efectos-causas
RESULTADOS:	hipótesis-de-causas
INFERENCIA diferenciar	
DATOS:	hipótesis-de-causas, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	conocimiento-de-diferenciación
RESULTADOS:	hipótesis-de-causas, eventos
INFERENCIA combinar	
DATOS:	hipótesis-de-causas, observaciones
BASES DE CONOCIMIENTO:	relaciones-efectos-causa, estrategias-combinación
RESULTADOS:	combinaciones

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
observaciones	datos observados utilizados como información de entrada del problema	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{transaminasa-GPT(paciente)=alta, transaminasa-GOT(paciente)=alta }
eventos	eventos a explicar (tanto datos observados como causas intermedias)	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{transaminasa-GPT(paciente)=alta, transaminasa-GOT(paciente)=alta }
hipótesis-de-causas	conjunto de hipótesis de causas	conjunto de ternas concepto-atributo-valor	{enfermedad(paciente)=hepatitis, enfermedad(paciente)=tumor, alimentación(paciente)=desequilibrada}
combinaciones	combinaciones de conjuntos de hipótesis de causas	conjunto de conjuntos de ternas concepto-atributo-valor (disyunción de conjunciones)	{{enfermedad(paciente)=tumor, paciente-alimentación(paciente)=desequilibrada}, {enfermedad(paciente)=hepatitis, alimentación(paciente)=desequilibrada}}
causas-finales	soluciones posibles del proceso de diagnóstico	conjunto de conjuntos de ternas concepto-atributo-valor (disyunción de conjunciones)	{{enfermedad(paciente)=tumor, alimentación(paciente)=desequilibrada}, {enfermedad(paciente)=hepatitis, alimentación(paciente)=desequilibrada}}



## Algoritmo

```

METODO cubrir-y-diferenciar
  DATOS: observaciones
  RESULTADOS: causas-finales

ALGORITMO
1. combinaciones :=  $\emptyset$ 
2. explicar(observaciones -> causas-finales)

PROCEDIMIENTO explicar
  DATOS: eventos
  RESULTADOS: causas-finales
1. hipótesis-de-causas :=  $\emptyset$ 
2. REPEAT
3.   cubrir(eventos -> H)
4.   hipótesis-de-causas := hipótesis-de-causas U H
5.   diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones ->
6.     hipótesis-de-causas, eventos)
7.   observaciones := observaciones U eventos
8. UNTIL eventos =  $\emptyset$ 
9. propagar(hipótesis-de-causas -> causas-finales)

PROCEDIMIENTO propagar
  DATOS: hipótesis-de-causas
  RESULTADOS: causas-finales
1. combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)
2. REPEAT
3.   GET(eventos, combinaciones)
4.   IF eventos sólo contiene causas finales
5.     THEN causas-finales := causas-finales U {eventos}
6.     ELSE explicar(eventos -> causas-finales)
7. UNTIL combinaciones =  $\emptyset$ 

```

## Ejemplos

### *Ejemplo de aproximación*

Considérese el siguiente ejemplo abstracto y simplificado que tienen como síntomas S1, S2, ..., S7 y causas C1, C2, ..., C8. La base de conocimiento de reglas efectos-causa está representada con las siguientes reglas:

```

E1: S1 → C1 o C2
E2: S2 → C2 o C3 o C4
E3: S3 → C4
E4: S4 → C3
E5: S5 → C4 o C5
E6: S6 → C6
E7: S6 → C7
E8: C2 → C3 o C6 o C7
E9: C4 → C7 o C8

```

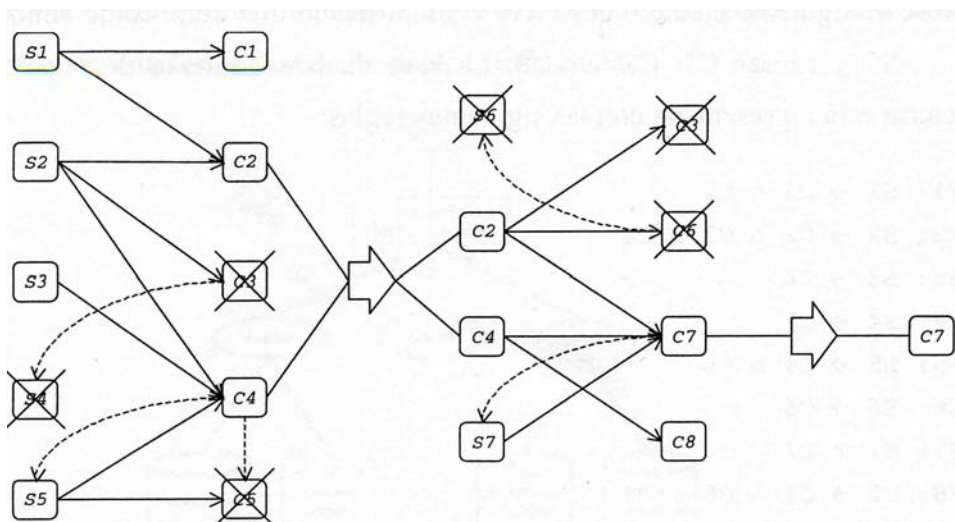
La base de conocimiento de relaciones causa-efecto está representada con el siguiente conjunto de reglas:

M1:  $C3 \rightarrow S4$   
 M2:  $C4 \rightarrow S5$   
 M3:  $C6 \rightarrow S6$   
 M4:  $C7 \rightarrow S7$

La base de conocimiento circunstancial incluye afirmaciones expresadas con el predicado *PREFERIBLE*(A,B) que indica que la causa A es preferible a B:

C1: *PREFERIBLE*(C4,C5)  
 C2: *PREFERIBLE*(C3,C2)  
 C3: *PREFERIBLE*(C3,C1)  
 C4: *PREFERIBLE*(C3,C4)

En un determinado momento se tienen como síntomas iniciales observados {S1, S2, S3}. Además, en el caso de que el sistema, durante la resolución del problema, pregunte al usuario, éste debe responder que: S4 es falso, S5 es verdadero, S6 es falso y S7 también es verdadero.



Seguidamente se muestra la aplicación del algoritmo indicando cada una de las llamadas a los pasos de inferencia y la evolución de los conjuntos considerados:

```
observaciones = {S1, S2, S3}
combinaciones = {}
eventos = {S1, S2, S3}

1. cubrir(eventos, H)

    S1 evoca C1, C2
    S2 evoca C2, C3, C4
    S3 evoca C4

    hipótesis-de-causas = {C1, C2, C3, C4}

2. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

    C3 manifiesta S4

    PREGUNTA-SISTEMA: ¿S4?

    RESPUESTA-USUARIO: FALSO

    se rechaza C3

    C4 manifiesta S5

    PREGUNTA-SISTEMA: ¿S5?

    RESPUESTA-USUARIO: VERDADERO

    se mantiene C4

    hipótesis-de-causas = {C1, C2, C4}

    en la base de conocimiento circunstancial no
    hay sentencias que afecten a las hipótesis

    eventos = {S5}

    observaciones = {S1, S2, S3, no(S4), S5}

3. cubrir(eventos, H)

    S5 evoca C5 (además de C4)

    hipótesis-de-causas = {C1, C2, C4, C5}

4. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

    C5 se rechaza frente a C4, aplicando conocimiento circunstancial
```

```

hipótesis-de-causas = {C1, C2, C4}
eventos = {}

5. combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)

S1, S2, S3, S5 se pueden explicar con C2 y C4.

También se pueden explicar con C1 y C4

combinaciones = {{C2, C4}, {C1, C4}}

eventos = {C2, C4}

6. cubrir(eventos, H)

C2 evoca C3, C6, C7

C4 evoca C7, C8

hipótesis-de-causas = = {C3, C6, C7, C8}

7. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

C3 manifiesta S4, C3 se descarta porque no se da S4 (preguntado previamente)

C6 manifiesta S6

PREGUNTA-SISTEMA: ¿S6?

RESPUESTA-USUARIO: FALSO

se rechaza C6

C7 manifiesta S7

PREGUNTA-SISTEMA: ¿S7?

RESPUESTA-USUARIO: VERDADERO

se mantiene C7

hipótesis-de-causas = = {C7, C8}

en la base de conocimiento circunstancial no

hay sentencias que afecten a las hipótesis

eventos = {S7}

observaciones = {S1, S2, S3, no(S4), S5, no(S6), S7}

8. cubrir(eventos, H)

S7 sólo lo cubre C7

hipótesis-de-causas = = {C7, C8}

9. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

```



```

eventos = {}

10.combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)

S1, S2, S3, S5 se pueden explicar con C2 y C4

C2 y C4 los explica C7 que también explica S7, por lo que una opción es {C7}

La opción {C7, C8} se descarta por el principio de parquedad

combinaciones = {{C7}}

eventos = {C7}

causas-finales = {{C7}}

... el proceso continúa con el otro caso de {C1, C4} (ver paso 5)

```

Por tanto, una solución del problema es que la causa C7 explica los síntomas observados. De forma resumida, la secuencia de preguntas-respuestas entre el sistema y el usuario es la siguiente:

```

PREGUNTA-SISTEMA: ¿S4?
RESPUESTA-USUARIO: falso
PREGUNTA-SISTEMA: ¿S5?
RESPUESTA-USUARIO: verdadero
PREGUNTA-SISTEMA: ¿S6?
RESPUESTA-USUARIO: falso
PREGUNTA-SISTEMA: ¿S7?
RESPUESTA-USUARIO: verdadero

```

### ***Diagnóstico en una planta térmica***

El sistema MOLE se aplicó al dominio de diagnóstico de averías en una planta de energía térmica. En dicho dominio, el componente principal sobre el que se hace diagnóstico es la instalación de la caldera, que es la unidad central de la planta. Los problemas, normalmente, no hacen detener el proceso, pero son una fuente de pérdidas importantes de eficiencia. Ello puede traducirse en una pérdida económica importante por consumo de combustible en exceso, además del aumento significativo del envío de contaminantes a la atmósfera. El modelo que se presenta aquí es una versión simplificada que tiene como fin ilustrar la forma de operación del método sobre un dominio concreto. Se tiene el siguiente conocimiento relativo a relaciones causa-efecto (relaciones de tipo *evoca*):

```

E1: flujo(ceniza) = presente
    → flujo(partículas) = presente o nivel(transferencia-calorífica) = baja
E2: lectura(oxígeno)= baja
    → nivel(corriente-de-aire) = excesivo o nivel(energía) = bajo
E3: lectura(presión)= baja
    → nivel(energía) = bajo
E4: tamaño(llama) = reducida
    → nivel(radiación) = baja
E5: nivel(corriente-de-aire) = excesivo
    → potencia(ventilación) = excesiva o nivel(material-de-mezcla) = insuficiente
E6: estado(conducción-gas) = fuga
    → nivel(transferencia-calorífica) = baja o nivel(corriente-de-aire) = excesivo
E7: nivel(transferencia-calorífica) = baja
    → nivel(radiación)= baja o flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado
E8: flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado
    → estado(depósito) = sucio
E9: potencia(ventilación) = excesiva
    → estado(depósito) = sucio o funcionamiento(válvula) = defectuoso
E10: velocidad(pulverizado) = lenta
    → funcionamiento(pulverización) = defectuoso o
        estado(conducto-principal) = fuga

```

Se dispone también de conocimiento sobre los síntomas que necesariamente manifiestan ciertas causas (relaciones de tipo *manifiesta*):

```

M1: nivel(corriente-de-aire)= excesivo
    → estado(conducción-gas) = fuga y lectura(oxígeno)= baja
M2: flujo(partículas)= presente
    → flujo(ceniza) = presente
M3: nivel(energía)= bajo
    → lectura(oxígeno) = baja y lectura(presión) = baja
M4: nivel(radiación)= baja
    → tamaño(llama) = reducida
M5: estado(conducto-principal)= fuga
    → velocidad(pulverizado)= lenta
M6: funcionamiento(pulverización)= defectuoso
    → velocidad(pulverizado)= lenta

```

Por último, se tienen las siguientes sentencias sobre conocimiento circunstancial para elegir entre hipótesis ( $PREFERIBLE(A,B)$  indica que la hipótesis de causa A es preferible a la hipótesis de causa B):

```
C1: PREFERIBLE(potencia(ventilación)= excesiva,  
              nivel(material-de-mezcla)= insuficiente)  
C2: PREFERIBLE(funcionamiento(válvula)= defectuoso,  
              funcionamiento(pulverización)= defectuoso)  
C3: PREFERIBLE(estado(conducto-principal)= fuga,  
              funcionamiento(pulverización)= defectuoso)  
C4: PREFERIBLE(nivel(corriente-de-aire)= excesivo,  
              estado(conducto-principal)= fuga)
```

Teniendo en cuenta que, en cierto momento, se registran como síntomas  $\text{flujo}(\text{ceniza})=\text{presente}$  y  $\text{estado}(\text{conducción-gas})=\text{fuga}$ , se aplica el método *cubrir-y-diferenciar* para determinar la posible avería. A continuación se indican la evolución del proceso de resolución indicando las llamadas a los diferentes pasos de inferencia.

```

observaciones = {flujo(ceniza)=presente, estado(conducción-gas)=fuga}

combinaciones = {}

eventos = {flujo(ceniza)=presente, estado(conducción-gas)=fuga}

1. cubrir(eventos, H)

  REGLAS:

  E1: flujo(ceniza) = presente
    → flujo(partículas) = presente o nivel(transferencia-calorífica) = baja
  E6: estado(conducción-gas) = fuga
    → nivel(transferencia-calorífica) = baja o nivel(corriente-de-aire) = excesivo

  hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}

2. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

  REGLAS:

  M1: nivel(corriente-de-aire)= excesivo
    → estado(conducción-gas) = fuga y lectura(oxígeno)= baja

  PREGUNTA-SISTEMA: ¿lectura(oxígeno)?

  RESPUESTA-USUARIO: baja

  se mantiene nivel(corriente-de-aire)= excesivo

  en la base de conocimiento circunstancial no

  hay sentencias que afecten a las hipótesis

  hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}

  eventos = {lectura(oxígeno)=baja}

  observaciones = {lectura(oxígeno)=baja, flujo(ceniza)=presente,
    estado(conducción-gas)=fuga}

3. cubrir(eventos, H)

  REGLAS:

  E2: lectura(oxígeno)= baja
    → nivel(corriente-de-aire) = excesivo o nivel(energía) = bajo

```

```

hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo,
    nivel(energía) = bajo}

4. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

REGLAS:
M3: nivel(energía)= bajo
    → lectura(oxígeno) = baja y lectura(presión) = baja
    (no se muestran reglas utilizadas que dan resultados ya obtenidos)

PREGUNTA-SISTEMA: ¿lectura(presión)?

RESPUESTA-USUARIO: normal

se descarta nivel(energía)= bajo

en la base de conocimiento circunstancial no
hay sentencias que afecten a las hipótesis

hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}
eventos = {lectura(presión)=normal}
observaciones = {lectura(presión)=normal, lectura(oxígeno)=baja,
    flujo(ceniza)=presente, estado(conducción-gas)=fuga}

5. cubrir(eventos, H)

no hay reglas para lectura(presión)=normal

hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}

6. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

no hay nuevas reglas para diferenciación en la base de causas-efectos
ni en la de conocimiento circunstancial

hipótesis-de-causas = {flujo(partículas)=presente,
    nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}
eventos = {}
observaciones = {lectura(presión)=normal, lectura(oxígeno)=baja,
    flujo(ceniza)=presente, estado(conducción-gas)=fuga}

```



```

7. combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)

combinaciones =

    {{nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo},
     {flujo(partículas)=presente, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}}

eventos =

    {{nivel(transferencia-calorífica)=baja, nivel(corriente-de-aire)=excesivo}

8. cubrir(eventos, H)

REGLAS:

E5: nivel(corriente-de-aire) = excesivo

    → potencia(ventilación) = excesiva o nivel(material-de-mezcla) = insuficiente

E7: nivel(transferencia-calorífica) = baja

    → nivel(radiación)= baja o flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado

hipótesis-de-causas = {potencia(ventilación)=excesiva,
                        nivel(material-de-mezcla)=insuficiente, nivel(radiación)=baja,
                        flujo(corriente-de-aire)=desequilibrado}

9. diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

REGLAS:

M4: nivel(radiación)= baja → tamaño(llama) = reducida

PREGUNTA-SISTEMA: ¿tamaño(llama)?

RESPUESTA-USUARIO: normal

se descarta nivel(radiación)=baja

SENTENCIAS:(de la base de conocimiento circunstancial)

C1: PREFERIBLE(potencia(ventilación)=excesiva,
               nivel(material-de-mezcla)=insuficiente)

se descarta nivel(material-de-mezcla)=insuficiente

hipótesis-de-causas = {potencia(ventilación) = excesiva,
                       flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado}

eventos = {tamaño(llama)=normal}

observaciones = {tamaño(llama)=normal, lectura(presión)=normal,
                  lectura(oxígeno)=baja, flujo(ceniza)=presente,
                  estado(conducción-gas)=fuga}

```

```

10.cubrir(eventos, H)

    no hay reglas para tamaño(llama)=normal

    hipótesis-de-causas = {potencia(ventilación) = excesiva,
                           flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado}

11.diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

    no hay nuevas reglas para diferenciación en la base de causas-efectos
    ni en la de conocimiento circunstancial

    hipótesis-de-causas = {potencia(ventilación) = excesiva,
                           flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado}

    eventos = {}

    observaciones = {tamaño(llama)=normal, lectura(presión)=normal,
                     lectura(oxígeno)=baja, flujo(ceniza)=presente,
                     estado(conducción-gas)=fuga}

12.combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)

    combinaciones =

        {{potencia(ventilación)=excesiva, flujo(corriente-de-aire)=desequilibrado}}

    eventos =

        {potencia(ventilación)=excesiva, flujo(corriente-de-aire)=desequilibrado}

13. cubrir(eventos, H)

    REGLAS:

    E8: flujo(corriente-de-aire) = desequilibrado
        → estado(depósito) = sucio

    E9: potencia(ventilación) = excesiva
        → estado(depósito) = sucio o funcionamiento(válvula) = defectuoso

    hipótesis-de-causas =

        {estado(depósito)=sucio, funcionamiento(válvula)=defectuoso}

14.diferenciar(hipótesis-de-causas, observaciones -> hipótesis-de-causas, eventos)

    no hay reglas para diferenciación en la base de causas-efectos
    ni en la de conocimiento circunstancial

    hipótesis-de-causas =

        {estado(depósito)=sucio, funcionamiento(válvula)=defectuoso}

```

```

eventos = {}

observaciones = {tamaño(llama)=normal, lectura(presión)=normal,
                  lectura(oxígeno)=baja, flujo(ceniza)=presente,
                  estado(conducción-gas)=fuga}

15.combinar(hipótesis-de-causas, observaciones -> combinaciones)

combinaciones =

  {{estado(depósito)=sucio}}

eventos =

  {estado(depósito)=sucio}

causas-finales = {{estado(depósito)=sucio}}

... el proceso continúa con la alternativa del paso 7 ...

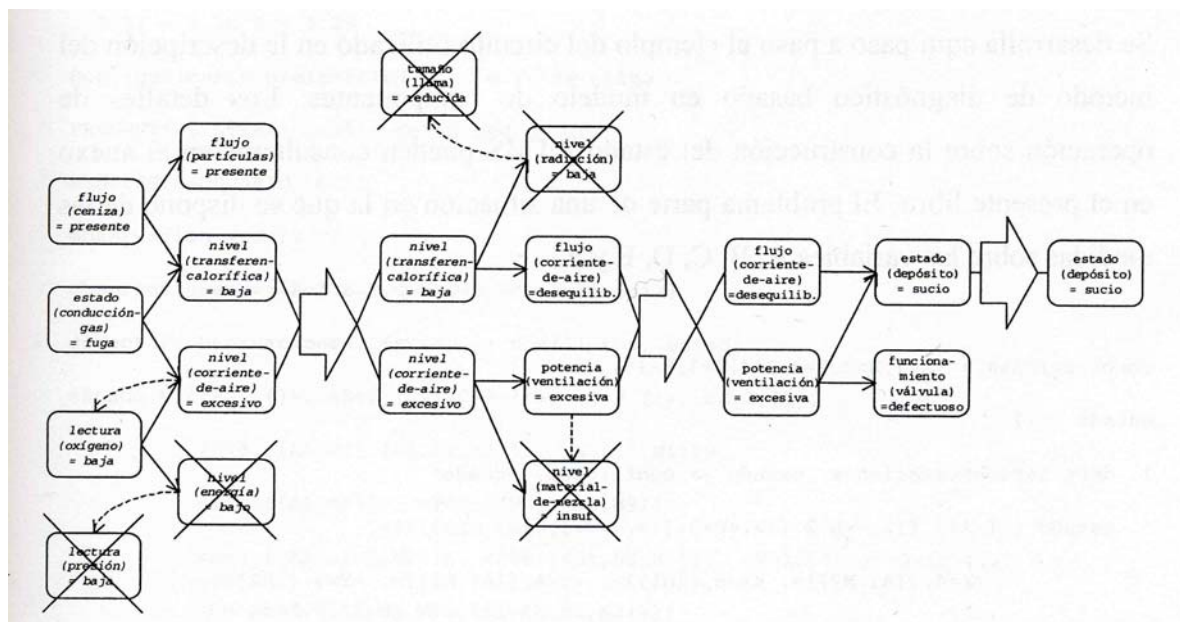
```

Por lo tanto, una solución del problema que explica todos los síntomas y observaciones es:

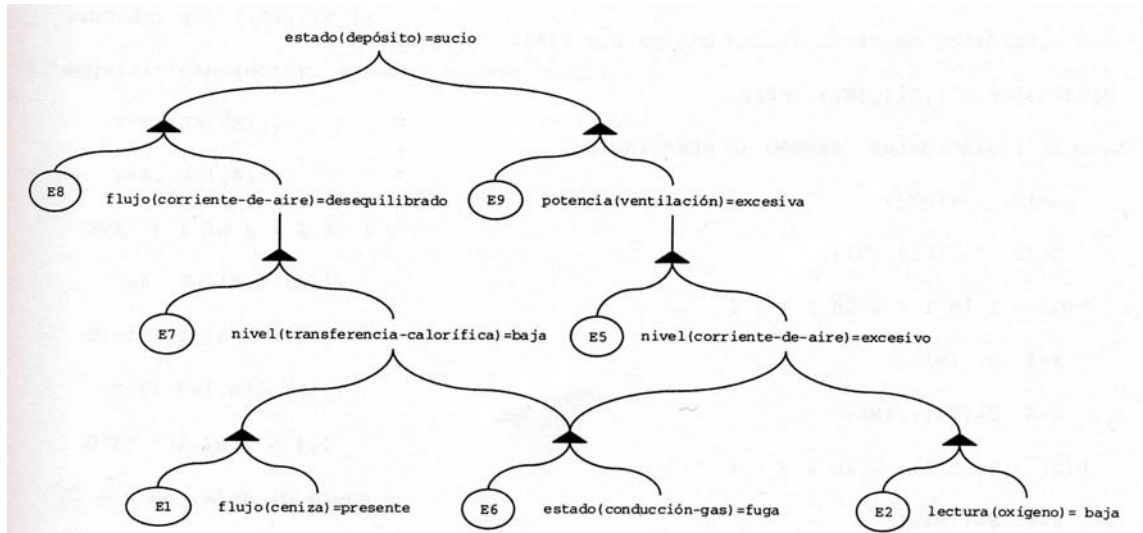
estado (depósito)=sucio

La interacción entre usuario y sistema ha sido la siguiente:

PREGUNTA-SISTEMA: ¿lectura(oxígeno)?  
 RESPUESTA-USUARIO: baja  
 PREGUNTA-SISTEMA: ¿lectura(presión)?  
 RESPUESTA-USUARIO: normal  
 PREGUNTA-SISTEMA: ¿tamaño(llama)?  
 RESPUESTA-USUARIO: normal

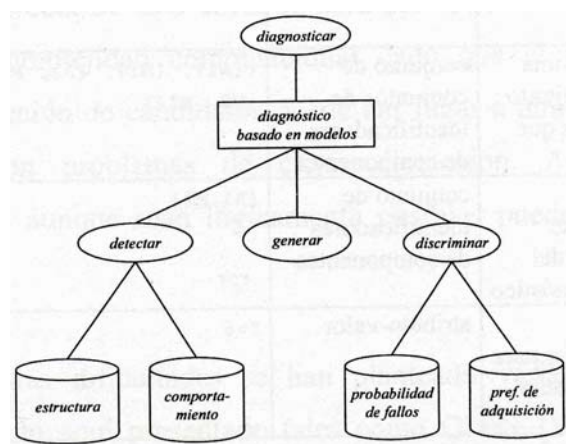




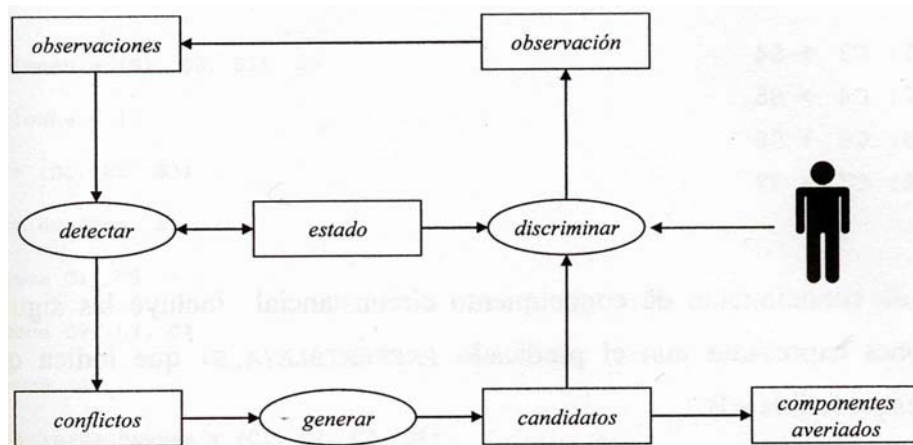


## 1.2.2 Algoritmo 2: Diagnóstico basado en modelo de componentes

### Estructura del método



### Organización del conocimiento

**Estructura de inferencia****Pasos de inferencia considerados**

INFERENCIA detectar	
DATOS:	observaciones, estado
BASES DE CONOCIMIENTO:	estructura, comportamiento
RESULTADOS:	conflictos, estado
INFERENCIA generar	
DATOS:	conflictos
BASES DE CONOCIMIENTO:	-
RESULTADOS:	candidatos
INFERENCIA discriminar	
DATOS:	candidatos, estado
BASES DE CONOCIMIENTO:	-
RESULTADOS:	observación

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
observaciones	datos observados que se van actualizando conforme avanza el proceso de diagnóstico	conjunto de atributo-valor	{A=3, B=2, C=2, D=3, E=3, F=10, G=12},
estado	sentencias que forman la base de datos ATMS	conjunto de tuplas <atributo-valor, {conjunto-1, ..., conjunto-N}>	{<A=3, {}>, <B=2, {}>, <C=2, {}>, <D=3, {}>, <E=3, {}>, <X=6, {{M1}}>, <Y=6, {{M2}}>, <Z=8, {{M3}}>, <G=12, {{A2, M2, M3}}>, <F=12, {{A1, M2, M3}}>}
conflictos	un conflicto es un conjunto de componentes entre los cuales falla al menos uno	conjunto de conjuntos de identificadores de componentes	{{A1, M1, M2}, {A1, A2, M1, M3}}
candidatos	un candidato es una hipótesis de conjunto de componentes que fallan	conjunto de conjuntos de identificadores de componentes	{{A1}, {M1}, {A2, M2}, {M2, M3}}
componentes-averiados	conjunto de componentes que fallan resultado del proceso de diagnóstico	conjunto de identificadores de componentes	{A1, M2}
observación	medida que es necesario conocer para continuar el proceso de diagnóstico	atributo-valor	Z=6

**Algoritmo**

METODO diagnóstico-basado-en-modelo-de-componentes

DATOS: observaciones

RESULTADOS: componentes-averiados

ALGORITMO

1. estado :=  $\emptyset$
2. **detectar**(observaciones, estado -> conflictos, estado)
3. **generar**(conflictos -> candidatos)
4. WHILE |candidatos| > 1
5.   **discriminar**(candidatos, estado -> observación)
6.   observaciones = observaciones U {observación}
7.   **detectar**(observaciones, estado -> conflictos, estado)
8.   **generar**(conflictos -> candidatos)
9. GET-FIRST(componentes-averiados, candidatos)

## Ejemplos

### *Diagnóstico en un circuito digital*

El problema parte de una situación en la que se dispone de las medidas sobre las variables, A, B, C, D, E, y F.

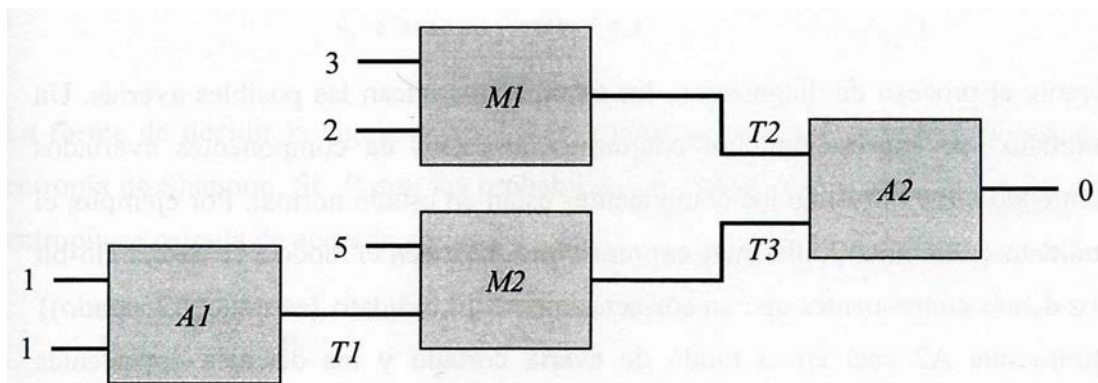
Por tanto, la solución final es que falla el componente A1. Durante el proceso de diagnóstico, el sistema ha realizado la siguiente interacción con el usuario para preguntar el valor de las medidas G y X:

```
PREGUNTA-SISTEMA: ¿valor de la medida G?
RESPUESTA-USUARIO: G=12
PREGUNTA-SISTEMA: ¿valor de la medida X?
RESPUESTA-USUARIO: X=6
```

### *Diagnóstico en circuito con probabilidades de fallo*

En este apartado se muestra un ejemplo de diagnóstico descrito por [Stefik, 95] que tiene como fin ilustrar la forma original que plantea el método GDE para dirigir el proceso de obtención de medidas para realizar el diagnóstico haciendo uso de probabilidades de fallo de componentes. El ejemplo ilustra también el manejo de modelos de fallo. Además, al final de la descripción se incluye la forma de simplificar el proceso asumiendo ciertas hipótesis, dando lugar a la formación que ha sido referenciada en el método general.

Considérese el circuito de la figura, en donde M1 y M2 son multiplicadores y A1 y A2 son sumadores. La precisión está limitada a 5 bits, por lo que los valores están entre 0 y 31. Si las entradas al sumador son X e Y, la salida será  $\text{mod}(X+Y, 32)$  en donde  $\text{mod}(A,B)$  es la operación módulo que devuelve el resto de dividir A entre B. La salida del multiplicador será  $\text{mod}(X*Y, 32)$ .



Cada uno de estos componentes puede adoptar cuatro posibles estados  $\{normal, cortado, fallo-bit, desconocido\}$  que se refieren respectivamente a (1) operación normal bajo un funcionamiento correcto, (2) circuito interior cortado, (3) fallo en el bit más significativo y (4) desconocido. En la avería correspondiente al estado *cortado* la salida siempre es 0. Cuando el estado es *fallo-bit* la salida pierde el valor del bit más

significativo, lo que supone que las operaciones se expresarán sólo en 4 bits, En este caso, la suma será  $\text{mod}(X+Y,16)$  y la multiplicación  $\text{mod}(X*Y,16)$ . En el estado *desconocido* la salida será desconocida.

Las probabilidades de fallo dadas por el fabricante de componentes eléctricos para un multiplicador M y para un sumador A son:

```
P(estado(M,normal)) = 0.9990
P(estado(M,cortado)) = 0.0003
P(estado(M,fallo-bit)) = 0.0006
P(estado(M,desconocido)) = 0.0001
P(estado(A,normal)) = 0.9990
P(estado(A, cortado)) = 0.0003
P(estado(A,fallo-bit)) = 0.0006
P(estado(A, desconocido)) = 0.0001
```

Durante el proceso de diagnóstico, los candidatos indican las posibles averías. Un candidato se expresa como un conjunto de estados de componentes averiados asumiendo que el resto de los componentes están en estado normal. Por ejemplo, el candidato  $\{\text{estado}(A2, \text{ fallo-bit})\}$  expresa que A2 está en el modo de avería fallo-bit y los demás componentes operan correctamente. El candidato  $\{\text{estado}(A2, \text{ cortado})\}$  expresa que A2 está en el modo de avería cortado y los demás componentes funcionan bien. El candidato  $\{\text{estado}(M1, \text{ cortado}), \text{estado}(M2, \text{ cortado})\}$  expresa que los componentes M1 y M2 están en el estado de avería cortado mientras que el resto operan correctamente.

Estos tres candidatos se han obtenido tras un proceso de análisis de las medidas registradas, centrándose en candidatos con uno o dos componentes averiados (candidatos de más componentes tienen muy baja probabilidad). También se han descartado candidatos que incluyen modo desconocido debido a su baja probabilidad en comparación con los otros candidatos.

Las probabilidades a priori de dichos candidatos se calculan multiplicando las probabilidades a priori de los componentes según su estado:

```
P({estado(A2,fallo-bit)})
= P(estado(A1, normal)) * P(estado(A2, fallo-bit) *
  P(estado(M1, normal)) * P(estado(M1, normal))
= 0.9990 * 0.0006 * 0.9990 * 0.9990
= 5.982 10-3
P({estado(A2,cortado)})
= P(estado(A1, normal)) * P(estado(A2, cortado) *
  P(estado(M1, normal)) * P(estado(M1, normal)) =
= 0.9990 * 0.0003 * 0.9990 * 0.9990
= 2.991 10-3
P({estado(M1,cortado), estado(M1,cortado)})
= P(estado(A1, normal)) * P(estado(A2, normal) *
  P(estado(M1, cortado))* P(estado(M1, cortado))
= 0.9990 * 0.9990 * 0.0003 * 0.0003
= 8.982 10-8
```



La forma de decidir la siguiente medición a realizar está basada en la medida de entropía de Shannon. Si  $P_i$  son las probabilidades de los candidatos, la medida de entropía se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

Teniendo en cuenta que en el ejemplo sólo son válidos los tres candidatos anteriores, sus probabilidades son  $5.982 \cdot 10^{-3}$ ,  $2.991 \cdot 10^{-3}$  y  $8.982 \cdot 10^{-8}$ . Se normalizan para que sumen la unidad manteniendo la misma proporción (dividiendo cada una por la suma de todas ellas) lo que da lugar respectivamente a las probabilidades de: 0.66666, 0.33333 y 0.00001. El valor de  $H$  para este caso es:

$$\begin{aligned} H &= -0.66666 \ln(0.66666) - 0.33333 \ln(0.33333) - 0.00001 \ln(0.00001) \\ &= 0.2703 + 0.3662 + 0.00011 = 0.6366 \end{aligned}$$

Los valores de  $H$  cercanos a cero indican una distribución de probabilidad menos plana y menos distribuida uniformemente por los candidatos, por lo que el diagnóstico será más afinado en situaciones con  $H$  cercano a cero. Para decidir qué medición es mejor, se busca aquélla que previsiblemente produzca una mejor redistribución de las probabilidades dando lugar a un menor valor de  $H$ . Esto se realiza de acuerdo con la estrategia denominada *one step look ahead*, ya mencionada previamente. Según esta estrategia se analiza el previsible efecto en la disminución de la entropía que supone una única medición, sin tener en cuenta qué mediciones se hagan después.

Supóngase un caso sobre el circuito considerado en donde la salida medida de A2 es 6 (en vez del valor 0 que mostraba la figura anterior). Dado que la salida esperada es 16 en vez de 6, alguno de los componentes debe estar averiado (uno o varios). En este caso, razonando sobre el modelo en sentido directo e inverso se tienen las siguientes conclusiones similares a las que se obtienen con GDE en forma de estado de ATMS sobre el funcionamiento correcto de componentes:

```
T1 = 2, si {estado(A1, normal)}
T2 = 0, si {estado(M1,normal), estado(M2,normal),estado(A2,normal)}
T2 = 6, si {estado(M1,normal)}
T3 = 10, si {estado(A1,normal), estado(M2,normal)}
T3 = 3, si {estado(A2,normal), estado(M1,normal)}
```

Los siguientes candidatos de un solo elemento explican las medidas observadas:

```
{estado(A1,cortado)}
{estado(M2,cortado)}
{estado(A1,desconocido)}
{estado(A2,desconocido)}
{estado(M1,desconocido)}
{estado(M2,desconocido)}
```

Las medidas de probabilidad de dichos candidatos son:

```
P({estado(A1,cortado)}) = 2.991 10-4
P({estado(M2,cortado)}) = 2.991 10-4
P({estado(A1,desconocido)}) = 9.970 10-5
P({estado(A2,desconocido)}) = 9.970 10-5
```

$$P(\{\text{estado}(M1, \text{desconocido})\}) = 9.970 \cdot 10^{-5}$$

$$P(\{\text{estado}(M2, \text{desconocido})\}) = 9.970 \cdot 10^{-5}$$

También hay otros candidatos de más de un elemento que pueden explicar las medidas. Por ejemplo el candidato  $\{\text{estado}(A1, \text{cortado}), \text{estado}(M2, \text{cortado})\}$  tiene una probabilidad de fallo muy baja de  $8.982 \cdot 10^{-8}$ . Todos los candidatos de cardinalidad 2 y superior tienen una probabilidad muy inferior a los candidatos considerados de cardinalidad 1 por lo que desde un punto de vista práctico se pueden descartar. Las probabilidades de los candidatos considerados se normalizan dividiendo por la suma de todos ellos con el fin de que sumen la unidad. Esta normalización es importante con el fin de permitir una adecuada interpretación y comparación de valores de entropía. Esto da lugar a los siguientes valores:

$$P(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}) = 0.3$$

$$P(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) = 0.3$$

$$P(\{\text{estado}(A1, \text{desconocido})\}) = 0.1$$

$$P(\{\text{estado}(A2, \text{desconocido})\}) = 0.1$$

$$P(\{\text{estado}(M1, \text{desconocido})\}) = 0.1$$

$$P(\{\text{estado}(M2, \text{desconocido})\}) = 0.1$$

Entre estos candidatos, cuando se estudia la posibilidad de una medición y se tiene en cuenta el valor esperado, los candidatos correspondientes a estados desconocidos no se consideran a no ser que no haya explicaciones posibles dadas por otros modos de comportamiento. En general, cuando considera un candidato  $C_j$  con respecto a una medición realizada  $T=V_i$  se pueden dar varias situaciones:

1.  $C_j$  es incompatible con la medida observada dado que predice un valor  $T=V_j$  en donde  $V_j$  es diferente de  $V_i$  por lo que el candidato se descarta para dicha situación.
2.  $C_j$  predice el mismo valor medido, entonces se tiene en cuenta para una posterior discriminación, incluyéndolo en la lista de posibles candidatos en donde se realiza una normalización de la probabilidad.
3.  $C_j$  no predice ningún valor que se pueda medir (se denomina candidato no comprometido), por lo que no se puede descartar ni confirmar haciendo alguna medición (en este caso se puede asociar como candidato posible a cada medición pendiente dividiendo su probabilidad entre el número de valores posibles de dichas mediciones).
4.  $C_j$  tiene un modo desconocido que no permite predecir el valor de la variable (alguno de los componentes del candidato está en modo desconocido), en este caso puede considerarse como no comprometido, o bien, tal como se hace en este ejemplo, sencillamente no se considera cuando no se puede distinguir su comportamiento de otro modo de operación.

Para elegir la medición más informativa se actúa de la siguiente forma. Se consideran las medidas  $T$  sobre las que se tienen varios valores posibles  $V_i$ . Para cada valor  $V_i$  hay un conjunto de candidatos consistentes con  $V_i$ . Se obtiene  $H(T=V_i)$  que cuantifica la entropía que resultaría si se mide  $T=V_i$ . Para calcular  $H(T=V_i)$  se consideran los candidatos que son consistentes con  $T=V_i$ .

En el ejemplo considerado, de las tres medidas posibles  $T1$ ,  $T2$  y  $T3$ , hay más de una alternativa para  $T1$  y  $T3$ . Para  $T2$  se espera medir sólo una única medida,  $T2 = 6$ , por lo

que no es necesario considerarla en el proceso de decisión sobre dónde hacer la medición.

Para la medida  $T1$  se tienen dos valores posibles  $T1=2$  y  $T1=0$ . Con  $T1=2$ , sólo el candidato  $\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}$  es consistente con ese valor. El cálculo de la entropía tiene en cuenta la probabilidad de dicho candidato debidamente normalizada teniendo en cuenta todos los candidatos posibles. Así, la normalización de  $p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) = 0.3$  da lugar a  $p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) = 1.0$  dado que hay un único candidato. La entropía para este caso es:

$$\begin{aligned} H(T1=2) &= -p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) \ln(p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\})) \\ &= 1.0 \ln(1.0) = 0 \end{aligned}$$

Para  $T1=0$ , el candidato consistente es  $\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}$ . Por razones similares al caso anterior se tiene:

$$\begin{aligned} H(T1=0) &= -p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}) \ln(p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\})) \\ &= -1.0 \ln(1.0) = 0 \end{aligned}$$

En el caso de  $T3$  se tienen dos posibilidades  $T3=0$  y  $T3=10$ . Para  $T3=0$  hay dos candidatos consistentes  $\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}$  y  $\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}$  ambos con probabilidad 0.3. El resultado de la normalización ajusta sus probabilidades a 0.5 para que la suma sea la unidad. El valor de la entropía es:

$$\begin{aligned} H(T3=0) &= -p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}) \ln(p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\})) - \\ &\quad p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) \ln(p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\})) \\ &= -0.5 \ln(0.5) - 0.5 \ln(0.5) = 0.6931 \end{aligned}$$

Para  $T3=10$  ninguno de los dos candidatos son consistentes con la medida. Por tanto se consideran aquí candidatos correspondientes a estados desconocidos. De los posibles, sólo el caso del sumador  $A2$  es consistente, dado que  $A1$  y  $M2$  deben operar correctamente para que se obtenga  $T3 = 10$ . Además el funcionamiento correcto de  $A2$  y  $M1$  averiado con estado desconocido no explicaría la medida de valor 6 de salida de  $A2$  con  $T3 = 10$ . Por tanto el candidato es  $\{\text{estado}(A2, \text{desconocido})\}$  con probabilidad 0.1 cuya normalización, dado que es único, da lugar a una medida de 1.0. Con ello se obtiene:

$$\begin{aligned} H(T3=10) &= -p(\{\text{estado}(A2, \text{desconocido})\}) \ln(p(\{\text{estado}(A2, \text{desconocido})\})) \\ &= -1.0 \ln(1.0) = 0 \end{aligned}$$

A su vez, la probabilidad  $P(T=V_i)$  de que una medida  $T$  tome un determinado valor  $V_i$  se calcula como la suma de las probabilidades de todos los candidatos que son consistentes con dicha medida.

$$\begin{aligned} P(T1=2) &= p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) = 0.3 \\ P(T1=0) &= p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}) = 0.3 \\ P(T3=10) &= p(\{\text{estado}(A2, \text{desconocido})\}) = 0.1 \\ P(T3=0) &= p(\{\text{estado}(A1, \text{cortado})\}) + p(\{\text{estado}(M2, \text{cortado})\}) \\ &= 0.3 + 0.3 = 0.6 \end{aligned}$$

Finalmente, la entropía esperada correspondiente a una determinada medida  $T$  se calcula con:

$$H_e(T) = \sum P(T = V_i) * H(T = V_i)$$

Lo que da lugar a los siguientes valores:

$$\begin{aligned} H_e(T1) &= P(T1=2) H(T1=2) + P(T1=0) H(T1=0) \\ &= 0.3*0 + 0.3*0 = 0 \\ H_e(T3) &= P(T3=0) H(T3=0) + P(T3=10) H(T3=10) \\ &= 0.6*0.6931 + 0.1*0 = 0.4159 \end{aligned}$$

La medida que obtenga menor valor de entropía esperada será la elegida, dado que se espera que distribuya de una forma más afinada (menos uniforme) la probabilidad de los candidatos restantes. En el ejemplo, la medida elegida es T1.

A partir de este ejemplo es fácil ver cómo se pueden simplificar los cálculos si, tal como se realizó en la descripción general del método, se hace la simplificación de que las probabilidades de fallo de los componentes son muy pequeñas e iguales. En ese caso  $H(T = V_i) = -\sum P_j \ln(P_j)$  en donde cada  $P_j$  es la probabilidad normalizada de cada candidato consistente con  $T=V_i$ . Todos los valores  $P_j$  son iguales y, dado que se trata de una medida normalizada,  $P_j=1/N_i$  en donde  $N_i$  es el número de candidatos consistentes con  $T=V_i$ . Con ello se puede reducir la expresión:

$$H(T = V_i) = -\sum P_j \ln(P_j) = -\frac{1}{N_i} \sum \ln\left(\frac{1}{N_i}\right) = -\ln\left(\frac{1}{N_i}\right) = \ln(N_i)$$

Además, el valor  $P(T=V_i)$  se calcula como la suma de las probabilidades de los candidatos consistentes con  $T=V_i$  es decir con  $P(T = V_i) = \sum P'_j$  en donde la medida  $P'_j$  es la probabilidad de un candidato  $C_j$  que es consistente con  $P(T=V_i)$ . Dado que la probabilidad es igual en todos los candidatos y debe sumar la unidad, se tiene  $P'_j=1/N$  siendo  $N$  el número total de candidatos. De acuerdo con ello, la expresión se reduce a:

$$P(T = V_i) = \sum P'_j = \frac{N_i}{N}$$

Sustituyendo en la fórmula general:

$$H_e(T) = \sum P(T = V_i) H(T = V_i) = \frac{1}{N} \sum N_i \ln(N_i)$$

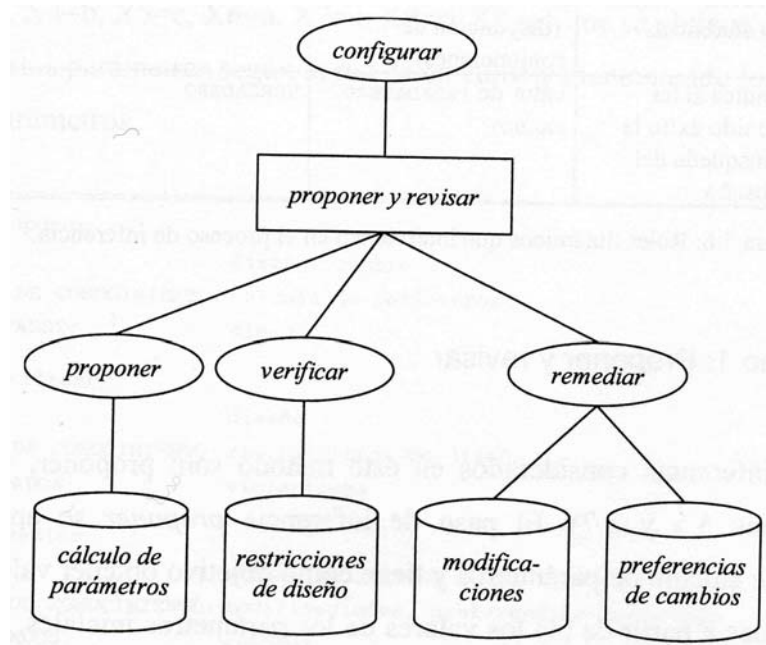
Mediante la eliminación del valor  $N$ , que es independiente de  $T$ , se obtiene la formulación más simple presentada en la descripción general del método:

$$H_e(T) = \sum N_i \ln(N_i)$$

## 1.3 Diseño paramétrico

### 1.3.1 Algoritmo 1: Proponer y revisar

#### Estructura del método

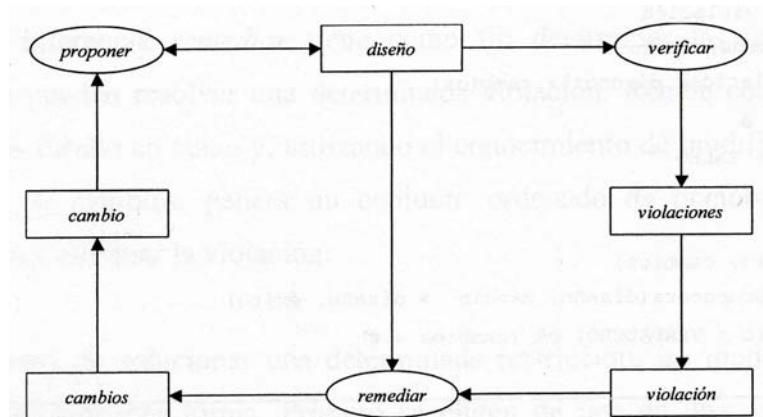




## Organización del conocimiento

Tipo de conocimiento		Explicación
Cálculo de parámetros	<i>Significado</i>	Indica cómo determinar los valores iniciales de unos parámetros a partir de otros, utilizando formulación matemática cuantitativa o estructuras lógicas para deducir valores cualitativos
	<i>Representación</i>	Funciones, Reglas
	<i>Ejemplos</i>	$\text{ancho}(\text{plataforma}) < 93 \rightarrow \text{modelo-seguridad}(\text{cabina})=\text{B1}$ $\text{ancho}(\text{plataforma}) > 114 \rightarrow \text{modelo-seguridad}(\text{cabina})=\text{B6}$
Restricciones de diseño	<i>Significado</i>	Relaciones entre parámetros y condiciones locales que deben verificarse y no están incluidas en el conocimiento de cálculo de parámetros
	<i>Representación</i>	Restricciones, restricciones condicionadas
	<i>Ejemplos</i>	$\text{modelo}(\text{polea-motor}) = \text{K3140}$ $\rightarrow \text{relación-ángulo-tracción-motor:}$ $\text{tracción}(\text{motor}) < 0.007888 * \text{ángulo}(\text{motor}) + 0.675$
Modificaciones	<i>Significado</i>	Criterios heurísticos que indican los cambios que deben realizarse en los parámetros para solucionar violaciones de restricciones
	<i>Representación</i>	Reglas
	<i>Ejemplos</i>	$\text{VIOLACIÓN}(\text{máximo-índice-tracción-motor})$ $\rightarrow \text{DECREMENTAR}(\text{distancia-contrapeso}(\text{plataforma}), 0.5)$ $\text{VIOLACIÓN}(\text{máximo-índice-tracción-motor})$ $\rightarrow \text{INCREMENTAR}(\text{suplemento-carga}(\text{cabina}), 100)$
Preferencias de cambios	<i>Significado</i>	Conocimiento de control para selección de modificaciones
	<i>Representación</i>	Tablas de prioridad
	<i>Ejemplos</i>	$\text{PRIORIDAD}(\text{ANTERIOR}(\text{modelo}(\text{polea-motor}), \text{tamaño}), 1)$ $\text{PRIORIDAD}(\text{INCREMENTAR}(\text{peso}(\text{suplemento-cabina}), X), 4)$

## Estructura de inferencia



**Pasos de inferencia considerados**

INFERENCIA proponer	
DATOS:	diseño, cambio
BASES DE CONOCIMIENTO:	cálculo-de-parámetros
RESULTADOS:	diseño
INFERENCIA verificar	
DATOS:	diseño
BASES DE CONOCIMIENTO:	restricciones-de-diseño
RESULTADOS:	violaciones
INFERENCIA remediar	
DATOS:	violación, diseño
BASES DE CONOCIMIENTO:	modificaciones, preferencias-de-cambios
RESULTADOS:	cambios

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
diseño	diseño en curso, inicialmente contiene sólo las especificaciones	conjunto de pares parámetro-valor	{apertura=central, personas=6, plantas=12}
cambio	modificaciones de valores en ciertos parámetros	conjunto de pares parámetro-valor	{personas=5, apertura=lateral}
violaciones	restricciones de diseño que no se cumplen	conjunto de identificadores de restricciones de diseño	{R23, R15, R47}
cambios	conjunto de modificaciones, ordenado según preferencias	conjunto de subconjuntos de parámetro-valor (disyunción de conjunciones)	{{personas=5},{apertura=lateral}} {personas=5, apertura=lateral}}
éxito	indica si ha tenido éxito la búsqueda del diseño	valor de {VERDADERO, FALSO}	VERDADERO

## Algoritmo

```

METODO proponer-y-revisar
  DATOS: especificaciones
  RESULTADOS: diseño, éxito

ALGORITMO
1.  diseño := especificaciones
2.  cambio :=  $\phi$ 
3.  generar-propuesta(diseño, cambio -> diseño, éxito)

PROCEDIMIENTO generar-propuesta
  DATOS: diseño, cambio
  RESULTADOS: diseño, éxito
1.  proponer(diseño, cambio -> diseño)
2.  verificar(diseño -> violaciones)
3.  IF violaciones =  $\phi$ 
4.  THEN éxito := VERDADERO
5.  ELSE
6.    GET(violación, violaciones)
7.    resolver-violación(diseño, violación -> diseño, éxito)

PROCEDIMIENTO resolver-violación
  DATOS: diseño, violación
  RESULTADOS: diseño, éxito
1.  remediar(violación, diseño -> cambios)
2.  IF cambios =  $\phi$ 
3.  THEN éxito := FALSO
4.  ELSE
5.    REPEAT
6.      GET(cambio, cambios)
7.      generar-propuesta(diseño, cambio -> diseño, éxito)
8.    UNTIL (éxito = VERDADERO) OR (cambios =  $\phi$ )

```

## Ejemplos

### *Ejemplo de aproximación*

Para ilustrar la ejecución del método descrito, considérese el siguiente ejemplo abstracto, que tiene como parámetros A, B, ... G y H en donde los parámetros A, B, C, D y E pueden tener como valor un número entero y el resto, F, G y H, pueden tener como valor alguno del conjunto {a, b, c}. La base de conocimientos de cálculo de parámetros está representada con el siguiente conjunto de reglas:

```

C1: A=X y C=Y → B=2*X+Y
C2: B>5 → G=a
C3: B<= 5 → G=b
C4: B>10 y E=X → D=3*X
C5: B<10 → D=2

```

C6:  $E > 10 \text{ y } H = a \rightarrow F = b$   
 C7:  $E < 10 \text{ y } H = a \rightarrow F = a$   
 C8:  $H = b \rightarrow F = c$

La base de conocimiento de restricciones de diseño es la siguiente:

R1:  $B < 13$   
 R2: diferente (B, D)  
 R3: diferente (G, F)  
 R4:  $D < 10$

El conocimiento de restricciones de diseño y preferencias de modificaciones se expresa en el siguiente conjunto de sentencias:

M1: VIOLACIÓN(R2)  $\rightarrow$  INCREMENTAR(A, 1)  
 M2: VIOLACIÓN(R2)  $\rightarrow$  INCREMENTAR(C, 1)  
 M3: VIOLACIÓN(R3)  $\rightarrow$  SIGUIENTE(H)  
 M4: VIOLACIÓN(R3)  $\rightarrow$  DECREMENTAR(E, 1)  
 M5: VIOLACIÓN(R4)  $\rightarrow$  DECREMENTAR(E, 2)

En dicho conjunto, por ejemplo, la primera sentencia indica que, si no se satisface la restricción R2, una posible solución es incrementar en una unidad el parámetro A. La tercera sentencia expresa que si no se satisface la restricción R3, una posible solución es cambiar el valor del parámetro H por sus siguiente valor, dentro de la lista de posibles valores {a, b, c}. Las medidas de preferencia para remedios son las siguientes:

P1: PRIORIDAD(INCREMENTAR(A, X), 1)  
 P2: PRIORIDAD(INCREMENTAR(C, X), 2)  
 P3: PRIORIDAD(SIGUIENTE(H), 2)  
 P4: PRIORIDAD(DECREMENTAR(E, X), 4)

En un problema concreto, se cuenta con el siguiente conjunto de valores: A=5, C=2, E=4 y H=a. A continuación se muestra el proceso de resolución del problema (se muestra el orden de las llamadas a los pasos de inferencia, indicando los cambios que se producen en los conjuntos que maneja el algoritmo):

```
especificaciones = {A=5, C=2, E=4, H=a}
cambio = {}
diseño = {A=5, C=2, E=4, H=a}
1. proponer(diseño, cambio -> diseño)
   diseño = {A=5, B=12, C=2, D=12, E=4, F= a, G=a, H=a}
2. verificar(diseño -> violaciones)
   violaciones = {R2, R3, R4}
   violación = R2
3. remediar(violación, diseño -> cambios)
   cambios = {{A=6}, {C=3}, {A=6, C=3}}
   cambio = {A=6}
```



```

4. proponer(diseño, cambio -> diseño)
   diseño = {A=6, B=14, C=2, D=12, E=4, F=a, G=a, H=a}
5. verificar(diseño -> violaciones)
   violaciones = {R1, R3, R4}
   violación = R1
6. remediar(violación, diseño -> cambios)
   cambios = {}
   éxito = FALSO
   se elige otra alternativa de cambios pendiente en paso 3
   cambio = {C=3}
7. proponer(diseño, cambio -> diseño)
   diseño = {A=5, B=13, C=3, D=12, E=4, F=a, G=a, H=a}
8. verificar(diseño -> violaciones)
   violaciones = {R3, R4}
   violación = R3
9. remediar(violación, diseño -> cambios)
   cambios = {{H=b}, {E=3}, {H=b, E=3}}
   cambio = {H=b}
10. proponer(diseño, cambio -> diseño)

```

```

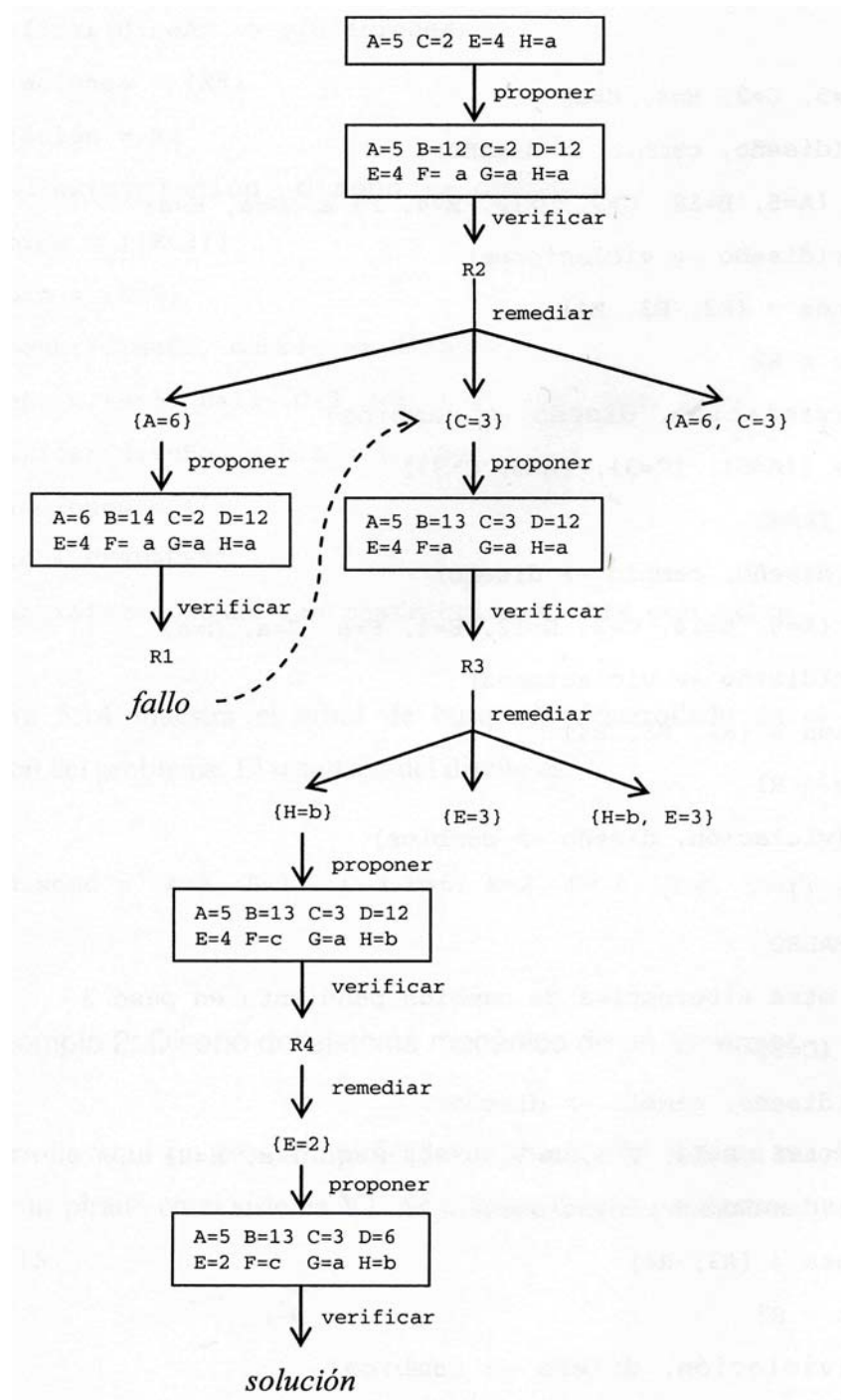
   diseño = {A=5, B=13, C=3, D=12, E=4, F=c, G=a, H=b}
11. verificar(diseño -> violaciones)
   violaciones = {R4}
   violación = R4
12. remediar(violación, diseño -> cambios)
   cambios = {{E=2}}
   cambio = {E=2}
13. proponer(diseño, cambio -> diseño)
   diseño = {A=5, B=13, C=3, D=6, E=2, F=c, G=a, H=b}
14. verificar(diseño -> violaciones)
   violaciones = {}
   éxito = VERDADERO
   se satisfacen todas las restricciones, FIN con éxito

```



A continuación se muestra el árbol de búsqueda desarrollado en el proceso de resolución del problema. El resultado del diseño es:

diseño = {A=5, B=13, C=3, D=6, E=2, F=c, G=a, H=b}

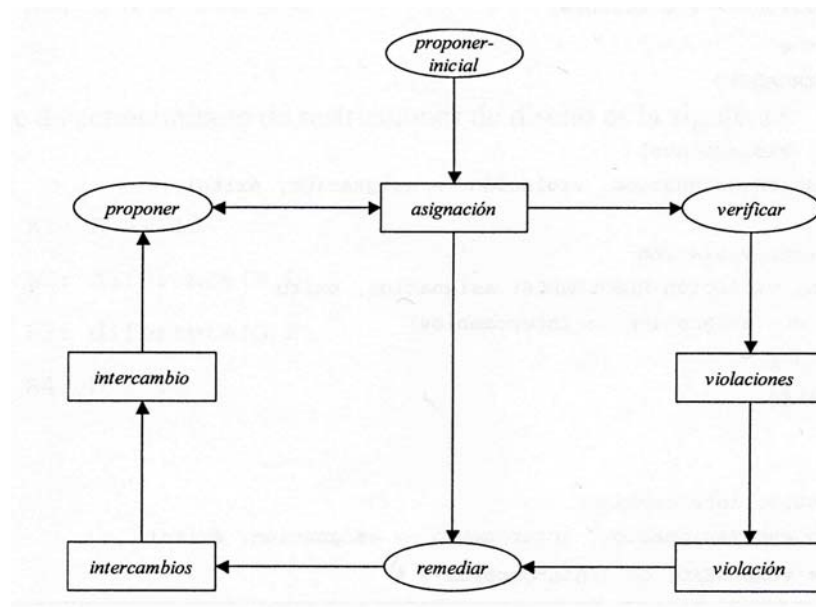


## 1.3.2 Algoritmo 2: Proponer e intercambiar

### Estructura del método

### Organización del conocimiento

### Estructura de inferencia



### Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA proponer-inicial	
DATOS:	-
BASES DE CONOCIMIENTO:	cálculo-de-parámetros
RESULTADOS:	asignación
INFERENCIA proponer	
DATOS:	asignación, intercambio
BASES DE CONOCIMIENTO:	cálculo-de-parámetros
RESULTADOS:	asignación
INFERENCIA verificar	
DATOS:	asignación
BASES DE CONOCIMIENTO:	restricciones-de-diseño
RESULTADOS:	violaciones
INFERENCIA remediar	
DATOS:	violación, asignación
BASES DE CONOCIMIENTO:	modificaciones, preferencias-de-cambios
RESULTADOS:	intercambios

**Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia**

<b>Rol dinámico</b>	<b>Significado</b>	<b>Representación</b>	<b>Ejemplo</b>
asignación	asignación en curso, formada por los parámetros correspondientes a la asignación además de otros secundarios	conjunto de pares parámetro-valor	{plaza-3=autobús-1, plaza-8=autobús-2, plaza-4=autobús-3, plaza-2=autobús-4, plazas-libres=4}
intercambio	intercambio de los valores de pares de parámetros	conjunto de tuplas de dos parámetros <parámetro-1, parámetro-2>	{<plaza-3, plaza-4>, <plaza-5, plaza-7>}
violaciones	restricciones de que no se cumplen	conjunto de identificadores de restricciones	{R23, R15, R47}
intercambios	conjunto de intercambios ordenado según preferencias	conjunto de conjuntos de tuplas de dos parámetros <parámetro-1, parámetro-2> entendido como disyunción de conjunciones	{{<plaza-3, plaza-4>}, {<plaza-5, plaza-7>}, {<plaza-3, plaza-4>, <plaza-5, plaza-7>}}
éxito	indica si ha tenido éxito la búsqueda	valor de {VERDADERO, FALSO}	VERDADERO

## Algoritmo

METODO proponer-e-intercambiar

DATOS:  $\phi$

RESULTADOS: asignación, éxito

ALGORITMO

1. asignación :=  $\phi$
2. intercambio :=  $\phi$
3. **proponer-inicial**(-> asignación)
4. **verificar**(asignación -> violaciones)
5. IF violaciones =  $\phi$
6. THEN éxito := VERDADERO
7. ELSE
8.   GET(violación, violaciones)
9.   resolver-violación(asignación, violación -> asignación, éxito)

PROCEDIMIENTO generar-propuesta

DATOS: asignación, intercambio RESULTADOS: asignación, éxito

1. **proponer**(asignación, intercambio -> asignación)
2. **verificar**(asignación -> violaciones)
3. IF violaciones =  $\phi$
4. THEN éxito := VERDADERO
5. ELSE
6.   GET(violación, violaciones)
7.   resolver-violación(asignación, violación -> asignación, éxito)

PROCEDIMIENTO resolver-violación

DATOS: asignación, violación RESULTADOS: asignación, éxito

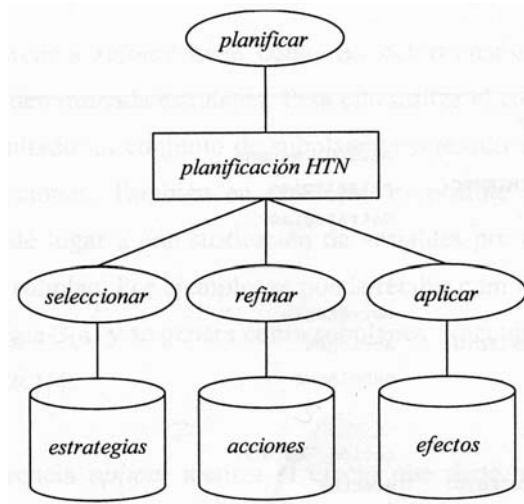
1. **remediar**(violación, asignación -> intercambios)
2. IF intercambios =  $\phi$
3. THEN éxito := FALSO
4. ELSE
5.   REPEAT
6.     GET(intercambio, intercambios)
7.     generar-propuesta(asignación, intercambio -> asignación, éxito)
8.   UNTIL (éxito = VERDADERO) OR (intercambios =  $\phi$ )



## 1.4 Planificación jerárquica HTM

### 1.4.1 Algoritmo 1: Planificación jerárquica HTM

#### Estructura del método



#### Organización del conocimiento

Tipo de conocimiento		Explicación
Estrategias	Significado	Criterios de selección de estrategias.
	Representación	Sentencias en forma de reglas con el formato de <acción>, <condiciones> → <estrategia>
	Ejemplos	ir(X) y dinero(persona) > 25 y posición(persona) = Y y distancia(X, Y) < 20 → taxi(Y, X)
Acciones	Significado	Acciones de las que consta cada estrategia expresadas en forma de lista ordenada.
	Representación	Sentencias en forma de reglas con el formato de <estrategia> → {<acción-1>, ..., <acción-N>}
	Ejemplos	taxi(X, Y) → {llamar-taxi(X), ir-en-taxi(X, Y), pagar-taxi(X, Y)}
Efectos	Significado	Efectos que tienen las acciones concretas.
	Representación	Sentencias en forma de reglas con el formato de <acción>, <condiciones> → <efecto>
	Ejemplos	ir-en-taxi(X, Y) y posición(persona) = X y posición(taxi) = X → posición(persona) = Y, posición(taxi) = Y



## Estructura de inferencia

### Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA seleccionar	
DATOS:	acción, estado
BASES DE CONOCIMIENTO:	estrategias
RESULTADOS:	estrategias
INFERENCIA refinar	
DATOS:	estrategia
BASES DE CONOCIMIENTO:	acciones
RESULTADOS:	subplanes
INFERENCIA aplicar	
DATOS:	acción, estado
BASES DE CONOCIMIENTO:	efectos
RESULTADOS:	estado

### Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia

Rol dinámico	Significado	Representación	Ejemplo
diseño	afirmaciones sobre el diseño en curso, inicialmente contiene sólo las especificaciones	conjunto de pares atributo-valor	{A=a, B=b, C=d, D=d}
especificaciones	especificaciones del diseño a realizar correspondientes a funciones y preferencias	conjunto de pares atributo-valor	{A=a, B=b}
estrategia	identificador de una estrategia	estructura	estrategia-5(a,b)
acción	identificador de una acción de diseño; puede ser abstracta o concreta	estructura	acción-A(a,b)
guía	lista ordenada de acciones de diseño (abstractas y concretas); sirve como guía al proceso de planificación	conjunto ordenado estructuras	{acción-11(a), acción-P(c), acción-12(d,e)}
subplan	lista ordenada de acciones de diseño (abstractas y concretas); corresponde a las acciones de las que consta una estrategia de diseño	conjunto ordenado estructuras	{acción-11(a), acción-P(c), acción-12(d,e)}
éxito	indica si ha tenido éxito la búsqueda del plan	valor de {VERDADERO, FALSO}	VERDADERO

## Algoritmo

```

METODO planificación-jerárquica-HTN
  DATOS: estado, acción
  RESULTADOS: estado, plan, éxito

ALGORITMO
1. guía = {acción}
2. planificar(estados, guía, {} -> estado, plan, éxito)

PROCEDIMIENTO planificar
  DATOS: estado, guía, plan
  RESULTADOS: estado, plan, éxito
1. IF guía =  $\emptyset$  THEN éxito = VERDADERO
2. ELSE
3.   GET-FIRST(acción, guía)
4.   IF TIPO(acción) = concreta THEN
5.     aplicar(estados, acción -> estado)
6.     planificar(estados, guía, plan U {acción} -> estado, plan, éxito)
7.   ELSE
8.     seleccionar(acción, estados -> estrategias)
9.     éxito = FALSO
10.    WHILE (estrategias no  $\emptyset$ ) AND no(éxito)
11.      GET (estrategia, estrategias)
12.      refinar(estrategia -> subplanes)
13.      WHILE (subplanes no  $\emptyset$ ) AND no(éxito)
14.        GET (subplan, subplanes)
15.        planificar(estados, subplan U guía, plan -> estado, plan, éxito)

```

## Ejemplos

### *Ejemplo de aproximación*

Considérese el siguiente ejemplo que tiene como base de conocimiento de estrategias las siguientes sentencias:

```

acción-0 y A1=a y A2=a → estrategia-1(a)
acción-0 y A1=a y A2=b → estrategia-1(b)
acción-0 y A1=b y A2=X → estrategia-1(X)
acción-1(X) y A3=b y A4=b → estrategia-3(X,a)
acción-1(X) y A4=b → estrategia-4(X,c)
acción-1(X) y A3=a y A4=a → estrategia-3(a,a)
acción-11(P,X) y A3=a y A4=b → estrategia-4(X,a)
acción-11(X,Q) y A3=a y A5=a → estrategia-5(X)
acción-11(P,X) y A3=b y A5=a → estrategia-5(a)
acción-12(X) → estrategia-5(X)
acción-12(X) y A3=a → estrategia-4(a,X)
acción-12(X) y A4=a → estrategia-4(X,a)
acción-2(X) y A2=a y A7=Y → estrategia-5(a,Y)
acción-2(X) y A2=b y A7=Y → estrategia-6(X,Y)
acción-2(X) y A2=c → estrategia-6(X,b)

```

La base de conocimiento de acciones es la siguiente:

```

estrategia-1(X)
→ {acción-A3(X), acción-1(X), acción-P(X), acción-2(X)}

estrategia-2(X)
→ {acción-A3(c), acción-Q(X), acción-2(X)}

estrategia-3(X,Y)
→ {acción-A5(b), acción-11(X,Y), acción-Q(Y)}

estrategia-4(X,Y)
→ {acción-A5(c), acción-12(X), acción-Q(Y)}

estrategia-5(X)
→ {acción-A6(b), acción-R, acción-S(X)}

estrategia-6(X, Y)
→ {acción-T(Y), acción-U(X, Y)}

```

La base de conocimiento de efectos es:

```

acción-A3(X)           → A3 = X
acción-A5(X)           → A5 = X
acción-A6(X) y A4=Y    → A4 = X, A6 = Y

```

Para un determinado problema se cuenta con los siguientes hechos iniciales correspondientes al estado del mundo:

```
{A1=a, A2=b, A4=b, A7=a}
```

El proceso de resolución del problema es el siguiente (se muestra el orden de llamadas a los pasos de inferencia indicando los cambios que se producen en los conjuntos que manejan el algoritmo):

```

estado = {A1=a, A2=b, A4=b, A7=a}
guía = {acción-0}
acción = acción-0

1. seleccionar(acción, estado -> estrategias)
   estrategias = {estrategia-1(b)}
   estrategia = estrategia-1(b)

2. refinar(estrategia -> subplanes)
   subplanes = {{acción-A3(b), acción-1(b),
                 acción-P(b), acción-2(b)}}
   subplan = {acción-A3(b), acción-1(b), acción-P(b), acción-2(b)}
   guía = {acción-A3(b), acción-1(b), acción-P(b), acción-2(b)}
   acción = acción-A3(b)

3. aplicar(estado, acción -> estado)
   estado = {A1=a, A2=b, A3=b, A4=b, A7=a}
   plan = {acción-A3(b)}
   guía = {acción-1(b), acción-P(b), acción-2(b)}

acción = acción-1(b)

4. seleccionar(acción, estado -> estrategias)
   estrategias = {estrategia-3(b,a), estrategia-4(b,c)}
   estrategia = estrategia-3(b,a)

5. refinar(estrategia -> subplanes)
   subplanes = {{acción-A5(b), acción-11(b,a), acción-Q(a)}}
   subplan = {acción-A5(b), acción-11(b,a), acción-Q(a)}
   guía = {acción-A5(b), acción-11(b,a), acción-Q(a),
           acción-P(b), acción-2(b)}
   acción = acción-A5(b)

6. aplicar(estado, acción -> estado)
   estado = {A1=a, A2=b, A3=b, A4=b, A5=b, A7=a}
   plan = {acción-A3(b), acción-A5(b)}
   guía = {acción-11(b,a), acción-Q(a), acción-P(b), acción-2(b)}
   acción = acción-11(b,a)

```

```
7. seleccionar(acción, estado -> estrategias)
    estrategias = {}
    se produce un FALLO por esta rama
    se vuelve a la opción alternativa en paso 4
    estado = {A1=a, A2=b, A3=b, A4=b, A7=a}
    plan = {acción-A3(b)}
    estrategia = estrategia-4(b,c)

8. refinar(estrategia -> subplanes)
    subplanes = {{acción-A5(c), acción-12(b), acción-Q(c)}}
    subplan = {acción-A5(c), acción-12(b), acción-Q(c)}
    guía = {acción-A5(c), acción-12(b), acción-Q(c),
            acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-A5(c)

9. aplicar(estado, acción -> estado)
    estado = {A1=a, A2=b, A3=b, A4=b, A5=c, A7=a}
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c)}
    guía = {acción-12(b), acción-Q(c), acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-12(b)

10. seleccionar(acción, estado -> estrategias)
    estrategias = {estrategia-5(b)}
    estrategia = estrategia-5(b)

11. refinar(estrategia -> subplan)
    subplan = {acción-A6(b), acción-R, acción-S(b)}
    guía = {acción-A6(b), acción-R, acción-S(b),
            acción-Q(c), acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-A6(b)
```



```

12.aplicar(estado, acción -> estado)
    estado = {A1=a, A2=b, A3=b, A4=b, A5=c, A6=b, A7=a}
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b)}
    guía = {acción-R, acción-S(b), acción-Q(c),
            acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-R

13.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b), acción-R}
    guía = {acción-S(b), acción-Q(c), acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-S(b)

14.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c),
            acción-A6(b), acción-R, acción-S(b)}
    guía = {acción-Q(c), acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-Q(c)

15.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c),
            acción-A6(b), acción-R, acción-S(b), acción-Q(c)}
    guía = {acción-P(b), acción-2(b)}
    acción = acción-P(b)

16.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b),
            acción-R, acción-S(b), acción-Q(c), acción-P(b)}
    guía = {acción-2(b)}
    acción = acción-2(b)

17.seleccionar(acción, estado -> estrategias)
    estrategias = {estrategia-6(b,a)}
    estrategia = estrategia-6(b,a)

```

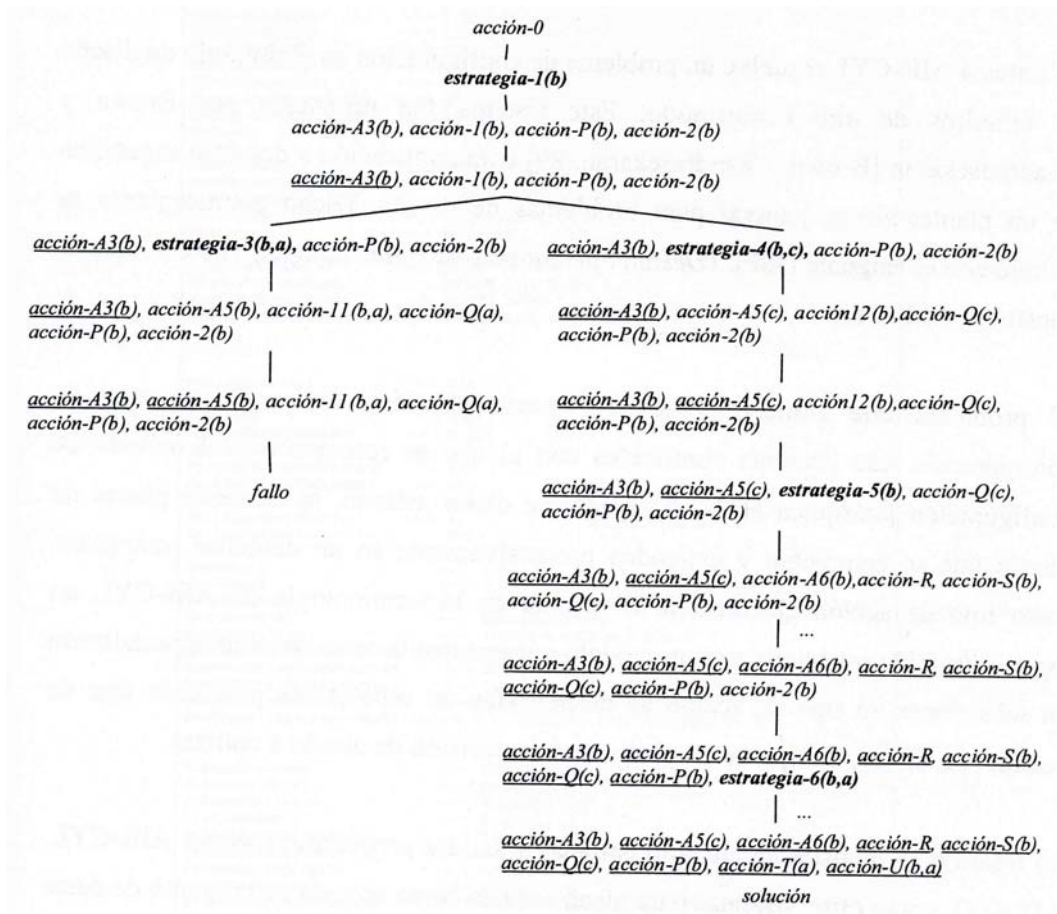
```

18.refinar(estrategia -> subplanes)
    subplanes = {{acción-T(a), acción-U(b,a)}}
    subplan = {acción-T(a), acción-U(b,a)}
    guía = {acción-T(a), acción-U(b,a)}
    acción = acción-T(a)
19.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b), acción-R,
            acción-S(b), acción-Q(c), acción-P(b), acción-T(a)}
    guía = {acción-U(b,a)}
    acción = acción-U(b,a)
20.aplicar(estado, acción -> estado)
    plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b), acción-R,
            acción-S(b), acción-Q(c), acción-P(b), acción-T(a),
            acción-U(b,a)}

    guía = {}
    éxito = VERDADERO

FIN

```

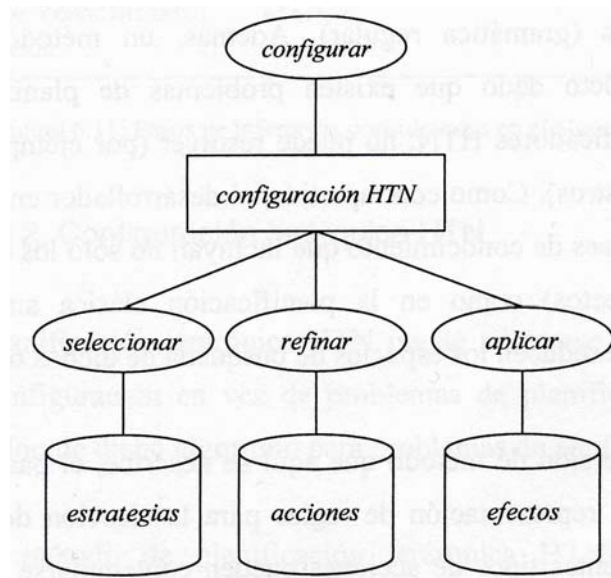


La figura muestra el árbol de búsqueda desarrollado en el proceso de resolución del problema. Como resultado, se genera el siguiente plan:

```
plan = {acción-A3(b), acción-A5(c), acción-A6(b), acción-R,
        acción-S(b), acción-Q(c), acción-P(b), acción-T(a),
        acción-U(b,a) }
```

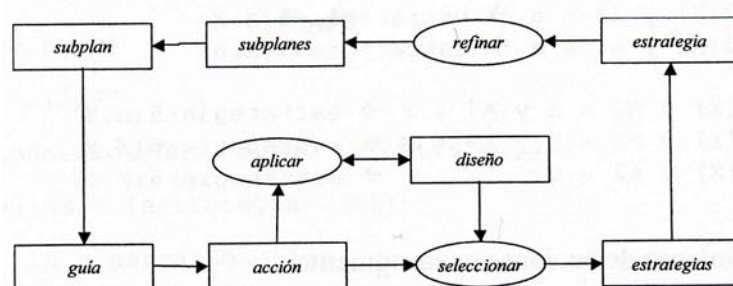
## 1.4.2 Algoritmo 2: Configuración jerárquica HTM

### Estructura del método



### Organización del conocimiento

### Estructura de inferencia



## Pasos de inferencia considerados

INFERENCIA seleccionar	
DATOS:	acción, diseño
BASES DE CONOCIMIENTO:	estrategias
RESULTADOS:	estrategias
INFERENCIA refinar	
DATOS:	estrategia
BASES DE CONOCIMIENTO:	acciones
RESULTADOS:	subplanes
INFERENCIA aplicar	
DATOS:	acción, diseño
BASES DE CONOCIMIENTO:	efectos
RESULTADOS:	diseño

## Roles dinámicos que aparecen en el proceso de inferencia

### Algoritmo

```

METODO configuración-jerárquica-HTN
  DATOS: especificaciones
  RESULTADOS: diseño, éxito

ALGORITMO
1. guía = {acción más general que representa el diseño total de sistema}
2. configurar(especificaciones, guía -> diseño, éxito)

PROCEDIMIENTO configurar
  DATOS: diseño, guía
  RESULTADOS: diseño, éxito
1. IF guía =  $\emptyset$  THEN éxito = VERDADERO
2. ELSE
3.   GET-FIRST(acción, guía)
4.   IF TIPO(acción) = concreta THEN
5.     aplicar(diseño, acción -> diseño)
6.     configurar(diseño, guía -> diseño, éxito)
7.   ELSE
8.     seleccionar(acción, diseño -> estrategias)
9.     éxito = FALSO
10.    WHILE (estrategias no  $\emptyset$ ) AND no(éxito)
11.      GET (estrategia, estrategias)
12.      refinar(estrategia -> subplanes)
13.      WHILE (subplanes no  $\emptyset$ ) AND no(éxito)
14.        GET (subplan, estrategias)
15.        configurar(diseño, subplan U guía -> diseño, éxito)

```

## 2 Adquisición del Conocimiento

### *2.1 Tipos de conocimiento*

**Conocimiento declarativo:** colección estática de hechos sin determinar cómo serán utilizados, y que pueden ser representaciones semánticas (basadas en el lenguaje) o visuales (imágenes perceptuales).

**Conocimiento procedimental:** la cuestión no es saber el “qué”, sino el “cómo”, es decir, la manera mejor para resolver el problema.

**Objetivo:** científico, experimental, basado en evidencias, generalizable, consistente, ...

**Subjetivo:** interpretado, difuso, basado en opiniones, no extrapolable, inconsistente, ...

#### 2.1.1 Desarrollo de “expertise” o conocimiento experto

Introspectivamente, Johnson-Laird ha propuesto la existencia de una representación interna más potente, inconsistente, y que sería traducida a lenguaje natural. Con la experiencia, se automatizarán los procesos de razonamiento – del conocimiento procedimental –, en un proceso gradual, con tres fases:

1. Interpretativa (piensa todos los pasos).
2. Compilada.
3. Automática (no es posible verbalizar todo el conocimiento porque lo tiene ya muy interiorizado).

Estas 3 mismas etapas se denominan en psicología:

1. Cognitiva: se parece la descripción del procedimiento a realizar.
2. Asociativa: se trabaja un método.
3. Autónoma: la habilidad se hace más rápida y autónoma.

El tiempo necesario para realizar una tarea disminuye con la práctica. Un experto suele necesitar unos 12-15 años en serio.

El espaciamiento de la práctica favorece el aprendizaje, así como si existe un “feedback” (por ejemplo, profesores particulares).

Clave: transformación de conocimiento declarativo en procedimental.

Existen subetapas en solución de problemas distintos que son similares, reforzando y acelerando el aprendizaje.



## 2.1.2 Diferencias cognitivas entre aprendices y expertos

Existen diversos patrones comunes a cada nivel de pericia, como es el razonamiento a partir de principios básicos que usualmente realizan los aprendices y el uso de diversas estrategias específicas que hacen los expertos, dependiendo de la naturaleza del problema del dominio.

- Anderson en Carnegie Mellon: comparación entre programadores avanzados con estudiantes de informática.
- Chase y Simon: contraste entre jugadores experimentados de ajedrez con aficionados.
- Investigadores de la universidad de Minnesota: especialistas y residentes médicos.
- Otros: expertos y estudiantes de matemáticas, físicas, ingenierías.

## 2.2 Sistemas expertos

La Ingeniería del Conocimiento surge en 1968/69 cuando surge el primer sistema experto DENDRAL (Universidad de Stanford), cuya meta es la generación de hipótesis de conocimientos.

En la primera generación de sistemas expertos, sólo estaban el experto y el ordenador (ej: MYCIN en medicina, Prospector en petróleo y Casnet en medicina y petróleo).

Se basan en la heurística (superficial).

- Datos: son sólo números, no dicen nada (15)
- Información: nos dicen el significado del dato, tengo algo de información (15 es la medida de algo)
- Conocimiento: la información la asocio a un conocimiento adquirido.

La segunda generación de sistemas expertos busca un conocimiento más profundo: conocimiento de las causas.

Ingeniería del Conocimiento frente a :

- modelo conexionista: razonamiento basado en reconocer patrones
- razonamiento basado en búsqueda: LISP.
- visión lógica del razonamiento: Prolog.

Símbolos: cómo representar el conocimiento (MRP -> Métodos de resolución de problemas).

En los años 90 muchos sistemas expertos fracasaron. Se busca mejorar las técnicas y tecnologías, se combina la ingeniería del Conocimiento con la Ingeniería del Software.

Aparece la Web: los sistemas expertos se hacen disponibles a través de una interfaz. Se dispara la cantidad de bases de datos disponibles para los investigadores (minería de datos).

Desarrollo de la idea de ontología.

Integración en los sistemas de información.

## **2.2.1 Tipos de tareas que resuelve un sistema experto**

### **Problema de clasificación**

- Jerarquías
- Análisis de señales/imágenes y ponerles una etiqueta.
- Sistemas de producción: predecir el comportamiento de una entidad.
- Tiempo: medioambiente, meteorología.
- Medicina.

### **Sistema para algún tipo de acción**

- Tratamiento: dosis que hay que dar a un paciente.

### **Sistema de diseño**

- Ver el número y los componentes que necesito. Estos componentes pueden ser causas, materiales, piezas, ...

### **Sistema de planificación**

- Comportamiento de robots.

### **Sistema de monitorización**

- Puede ser en centrales nucleares, eléctricas, centros de seguridad. Puedo monitorizar los motores o una UVI (hospital ~ medicina).

### **Enseñanza**

- Sistemas para ciegos, sordomudos, ...
- Sistemas de adopción al usuario.

### **Control**

- Parten de la monitorización, ante cualquier cambio toma una decisión y realiza una acción.

## 2.3 Fases en la adquisición del conocimiento

### 2.3.1 Fase 1: Identificación de la tarea

#### Plan de requisitos

- IEEE estándar a seguir.
- Fines del sistema.
- Análisis de coste/tiempo que se tardará.
- Tecnologías necesarias.
- Tecnologías disponibles.
- Limitaciones del sistema.

#### Estudio de la viabilidad

##### *Plausibilidad<sup>5</sup>*

- Existen expertos (no hay o no están disponibles).
- Existen expertos con metodologías precisas.
- Las tareas requieren habilidad cognitiva (no manual).
- La tarea no requiere sentido común.
- Hay casos de prueba que le puedo pasar al sistema.

##### *Justificación*



- Es útil tener experiencia en ambientes hostiles o complicados.
- Es necesario disponer de un conocimiento en diversos lugares simultáneamente y el experto no los puede cubrir.
- Alta recuperación de la inversión.
- No existen soluciones mejores.

##### *Adecuación del sistema al problema*



- Necesidades que se plantean son a largo plazo.
- La tarea no requiere investigación.
- No requiere necesariamente funcionar en tiempo real.
- Sólo se requiere manipulación simbólica.

##### *Anticipar el éxito del sistema*



- Los expertos no perciben el sistema como una amenaza.
- Los usuarios no tienen que modificar radicalmente su forma de trabajo.

---

<sup>5</sup> Recomendable



- El sistema no debe ser una caja negra, se debe poder dar una explicación del razonamiento.
- Comunicación entre sistemas.

### **Definición de tareas**

- Definir la aplicación: interfaz y hardware que se puede usar.
- Necesidades reales en el área.
- Calendario.

## **2.3.2 Fase 2: Desarrollo de los prototipos**

Se busca construir rápidamente e ir mejorándolo con el tiempo.

- a) Diseño del portotipo.
- b) **Adquisición de conocimiento** y conceptualización.
- c) Representación del conocimiento: reglas, lógica, marcos, redes semánticas.
- d) Implementación:
  - a. Shell: sistema experto sin BC.
  - b. Reutilización: BC ~ ontología.
- e) Validación del sistema.
  - a. analizar los resultados del sistema tras finalizar la batería de cuestiones.
  - b. casos de prueba complejos.
- f) Redefinición de requisitos.

## **2.3.3 Fase 3: Ejecución**

- Entrada/Salida: integración.
- Combinación con otros sistemas de ayuda a la toma de decisiones (redes de neuronas, ...)
- Interfaz relacionada con el usuario.

## **2.3.4 Fase 4: Mantenimiento<sup>6</sup>**

- Mantenimiento del propio sistema: actualiza técnicas.
- Mantenimiento del conocimiento.
- Adquisición del conocimiento: ontología.

## **2.3.5 Fase 5: Transferencia**

- Dar cursos a los usuarios.
- Documentación.
- Problemas con el cliente o los usuarios

---

<sup>6</sup> Mantenimiento por parte de los expertos y de los ingenieros del conocimiento.

- el sistema no se adecúa a la tecnología
- los directivos lo encuentran caro
- pérdida de tiempo
- ...

## ***2.4 Técnicas en la adquisición de conocimiento***

¿Qué conocimiento quiero obtener?

1. Conocimiento declarativo: ontología de dominio formada por
  - a. conceptos
  - b. relaciones
  - c. atributos
  - d. formalización lógica
2. Conocimiento procedimental.
3. Valores de probabilidad, valores de certeza.

### **2.4.1 Educción**

#### **Trabajo de educación**



- Preparación de la sesión
  - Contenido: área
  - Guión
  - Técnicas a utilizar
- Sesión
  - Repaso de cuestiones de la última
  - Objetivos
  - Preguntas
  - Últimas cuestiones del experto
  - Registro (audio o vídeo)
- Transcripción de la sesión en texto (ViaVoice)
- Análisis (conocimiento, heurísticas)
- Evaluación (finalización, refinamiento)

#### ***Sesiones***

Para la adquisición del conocimiento se necesita un ingeniero del conocimiento y un experto.


La adquisición se obtiene a lo largo de diversas sesiones de duración 1 hora ó 1.5 horas. Antes de la primera sesión, el ingeniero busca documentación (libros, manuales, artículos, revistas, ...). Se intenta la colaboración entre el ingeniero y el experto. Con la documentación podemos tener dudas, inconsistencias y recientes descubrimientos. Además planteamos al experto nuestras metas:

- conocimiento declarativo y procedimental.
- datos de entrada/salida.



- casos de prueba.
- tiempo real.

Sesión Ingeniero del Conocimiento – Experto:

1. Planteamiento de la situación.
2. Objetivos que queremos conseguir 
3. Preguntas.
4. Toda la sesión se graba en vídeo/audio. Gracias a la grabación, podríamos darnos cuenta de inconsistencias.
5. Posteriormente se realiza un análisis de la sesión.

## **Individual**

### ***Entrevistas***

Consiste en preguntar al experto para que nos cuente lo que sabe y cómo soluciona los posibles problemas del dominio. Es una técnica sencilla y se desarrolla en amplitud, obtenemos un conocimiento amplio pero poco profundo.

La técnica de entrevistas se debe combinar con otras técnicas: documentación, búsqueda, análisis de protocolos, ...

### **Entrevista abierta**

Es una entrevista espontánea. El ingeniero lleva una planificación previa (guión), pero deja libertad al experto. Busca capturar conocimiento declarativo (es lo que mejor va a capturar, el conocimiento procedimental lo va a capturar peor).

Se intenta ir comprendiendo la terminología que usa y se buscan posibles ontologías.

Hay que ver los datos que nos facilita (rangos, formatos, ...).

Hay que comprender la secuencia temporal de los pasos que da el experto para solucionar los problemas.

### **Entrevista estructurada**

Es una entrevista completamente programada. Hay un guión que se sigue. Es útil si se busca determinar de forma precisa los conceptos, las relaciones y los atributos.

Se busca crear su propia ontología de ese dominio. Busca conexiones entre conceptos y también inconsistencias. Además, se intenta averiguar las probabilidades o valores de certeza.

### ***Observación de tareas habituales***

Ir a ver al experto en su lugar de trabajo. Ver cómo trabaja y, si es posible, se intenta plantear o provocar un simulacro de accidente crítico (el problema es que el experto se siente observado, pudiendo modificar su comportamiento).

### ***Cuestionarios***

Los expertos responden a preguntas que se les plantea. Luego se analizan las respuestas y se extraen estadísticas. Los cuestionarios suelen ser anónimos (estos cuestionarios son la base del método Delphi).

### ***Emparrillado (Repertory Grid)***

#### **Introducción**

La teoría de la Construcción Personal, también denominada INCO técnica de Emparrillado fue desarrollada por Kelly en 1955, para ayudar a sus enfermos mentales a tomar conciencia de las inconsistencias en sus propias escalas de valores. Actualmente, es usada en muchos dominios tales como: asesoramiento, estudios demográficos y dinámica de grupos. Es, dentro de todas las técnicas de educación de conocimientos, la más potente, por estar basada en un modelo del pensamiento humano. Esta técnica se basa en la idea de que cada persona tiene su propio modelo o visión del mundo que le rodea.

El Emparrillado, incluye un diálogo inicial con el experto, una sesión de valoración y un análisis de los resultados, es decir, de los grupos de los conceptos y de las dimensiones sobre las cuales fueron valorados los elementos. Esencialmente, es una sesión de valoración y recuerdo de forma libre, en la cual el IC efectúa inferencias acerca de las relaciones entre los conceptos y la calidad de las relaciones en las dimensiones en las que el experto presta atención.

Esta técnica permite obtener información acerca de cómo piensa el experto y cuáles son sus prioridades y factores importantes. Su fuerza estriba en que permite probar la visión interna modelizada del mundo por la gente, sin necesidad de establecer explícitamente lo que esa visión es. Kelly creía que cada individuo veía el mundo de modo diferente y que esas diferencias podrían explicarse en términos de unas “imágenes” personales de los individuos. Habiendo determinado esas imágenes (en inglés *constructs*), Kelly sería capaz de ver el mundo a través de los ojos de sus pacientes. Además, diseñó un método para educir esas imágenes.

A partir de este trabajo inicial, se han desarrollado muchas formas de educir imágenes. La base de la técnica estriba en definir un área de interés, esto es, algún aspecto de los conocimientos de un experto. Una vez esta área ha sido suficientemente delineada, se describe en términos de los elementos que comprenden el dominio. Esto es razonablemente simple cuando se trata del marco de referencia de un enfermo mental, y menos fácil cuando el experto es un individuo complejo con un marco de referencias elaborado. Una vez el dominio ha sido suficientemente descrito, en términos de esos

elementos, se le pide al experto que coloque esos elementos en su propia “imaginada” visión del mundo.

Típicamente, los elementos elegidos para representar el dominio, deberían incluir todos los aspectos que el experto considera y siente que son importantes. Determinar esos elementos implica que el IC debe hablar con el experto, estudiar la tarea que éste hace y ponerse de acuerdo sobre aspectos importantes de la misma. Esto puede plantear algunos problemas. Una de las características del Emparrillado es que puede revelar vacíos en el conjunto de elementos proporcionado, aunque la mayoría de los elementos importantes hayan sido usados. Por eso, el Emparrillado permite, en INCO, poner en evidencia una parte de los conceptos y de las relaciones usadas por el experto en su dominio de conocimientos.

Con independencia de los problemas de interpretación que presenta esta técnica, los emparrillados padecen dos graves inconvenientes. Uno es de carácter ético, pues son, por su naturaleza, extremadamente intrusivos, pero no de una manera obvia. De este modo, los individuos pueden proporcionar información de la que no son conscientes ni están enterados. Por eso, hay que ser muy escrupuloso en la forma en que se utilice esta técnica y también debe determinarse con exquisito juicio si retroalimentar los resultados al experto, o no.

El segundo inconveniente es que hay que ser muy cuidadoso en la interpretación de la parrilla. Pues, mientras que puede ser muy buena para alumbrar importantes áreas de preocupación o enfoques, con tal de que los elementos hayan sido elegidos con el suficiente cuidado y sean representativos del dominio, es bastante fácil malentender la relativa importancia de los elementos individuales. Ya se ha dicho que la elección de los elementos debería ser, en la medida de lo posible, determinada por el experto y debería reflejar completamente el dominio. Si la parrilla produjera resultados anómalos, es conveniente reinvestigar el conjunto de elementos.

A pesar de que la calidad de la información recopilada a través de esta técnica es muy alta, a veces es difícil aplicarla a un SE específico. Esto se debe a que las parrillas tratan especialmente consentimientos y visiones antes que con hechos e información específica. Sin embargo, son muy adecuadas si se emplean como parte de un conjunto de técnicas, sencillamente porque es virtualmente imposible predecir qué información producirán los expertos y cuán relevante será esa información para el eventual éxito del SE.

Busca capturar el modelo mental del experto (particularmente cuando son imágenes visuales).

Este método sirve para:

- clasificación.
- ver la consistencia en los datos que nos ha dado el experto.

En el análisis (construcción de los árboles) vemos la separación y proximidad de los elementos. Si no hay coherencia, se debería refinar el modelo con el experto.

## Modelo mental

- Predicción.
- Clasificación de elementos nuevos (que no nos ha dado el experto).
- Entidades o elementos de un dominio.
- Características de los elementos.
- Método de clasificación en dos direcciones:
  - observaciones del mundo -> elementos.
  - representaciones -> características.

## Fases del emparrillado

1. Identificación de elementos: elementos claramente separables y que no se solapan.
2. Identificación de características: escoger características bipolares en las que se pueda diferenciar un lado positivo y un lado negativo. Se les puede dar valores entre 0-5.
3. Diseño y formalización del emparrillado.
4. Análisis de resultados (construcción de árboles).

## Ventajas e inconvenientes del emparrillado

### *Ventajas*

- el experto debe reflexionar sobre el problema.
- representación gráfica del problema.
- considerar/encontrar asociaciones entre características o elementos.
- refinar el problema y mejorar el conocimiento.

### *Inconvenientes*

- valores subjetivos.
- capturar un conocimiento muy superficial.
- complejo y difícil de resolver cuando hay muchos elementos y características.
- no es útil por sí mismo, necesita de otros mecanismos si queremos construir una base de conocimientos.

## Parrilla

En los emparrillados, la experiencia y conocimientos de los expertos en el dominio se representan en una tabla bidimensional o matriz evaluada. En ella, cada elemento  $V_{ij}$  es un valor tasado que es asignado por el experto en el dominio. Cada fila representa la relación entre una característica y todos los elementos. Y una columna, la relación entre cada elemento y todas las características.

	E1	E2	...	Ei	...	En	
C1	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	...	V <sub>1i</sub>	...	V <sub>1n</sub>	nC1
C2	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	...	V <sub>2i</sub>	...	V <sub>2n</sub>	nC2
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	...	.	.	.	.
.	.	.	.	.	...	.	.
Cj	V <sub>j1</sub>	V <sub>j2</sub>	.	V <sub>ji</sub>	.	V <sub>jn</sub>	nCj
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	...	.	...	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
Cm	V <sub>m1</sub>	V <sub>m2</sub>	...	V <sub>mi</sub>	...	V <sub>mn</sub>	nCm

Para detectar elementos redundantes en la matriz se puede usar la fórmula:

$$0 \leq DDE_{ij} = \sum_{k=1}^m \frac{|V_{ki} - V_{kj}|}{(S-1)m} \leq 1, \forall i \neq j$$

Cuando el elemento  $E_{ij}$  esté duplicado,  $DDE_{ij}$  deberá ser un valor entre 0 y 1. De un modo similar, para detectar características duplicadas o de alta similaridad, se puede emplear la fórmula:

$$0 \leq DDC_{ij} = \sum_{k=1}^n \frac{|V_{ik} - V_{jk}|}{(S-1)n} \leq 1, \forall i \neq j$$

En las cuales:

- $C_i$ : son las características
- $E_j$ : los elementos
  - el valor escalar de la evaluación
  - el número de características
  - el número de elementos
- $V_{ij}$ : el valor de la ecuación entre  $C_i$  y  $E_j$

Sobre cómo seleccionar los elementos más deseables, se puede establecer diferentes niveles de pesos para cada característica que se basa en el grado de importancia que la característica tiene con respecto al elemento diana. Se coloca su peso a 0 si la característica no es significativa, en otro caso, se coloca su valor en consonancia. A la vista de los valores ponderados y de la matriz evaluada, se puede construir la fórmula:

$$SV_i = \sum_{k=1}^m \frac{PV_k}{V_{ik}}$$

En donde:

- $PV$ : vector de pesos
- $SV$ : vector del grado de satisfacción



## Ejemplo

	e1	e2	e3	e4	← elementos
polo positivo	c1	5	3	2	nc1
de los	c2	1	1	2	nc2
características	c3	3	2	1	nc3
	c4	1	1	5	nc4
	c5	2	2	3	nc5

← polo negativo de las características

Voy a construir un árbol que nos permita diferenciar los elementos en función de las características.

	e1	e2	e3	e4
e1		3	11	11
e2			8	10
e3				10
e4				

Voy a ir calculando las diferencias mínimas entre los elementos.

$$|e1 - e2| = (5^2 - 3^2) + (1^2 - 1^2) + (3^2 - 2^2) + (2^2 - 1^2) = 3$$

$$|e1 - e3| = (5^2 - 3^2) + (1^2 - 2^2) + (3^2 - 1^2) + (2^2 - 5^2) = 11$$

$$|e1 - e4| = (5^2 - 1^2) + (1^2 - 1^2) + (3^2 - 5^2) + (2^2 - 3^2) = 11$$

$$|e2 - e3| = (3^2 - 2^2) + (1^2 - 2^2) + (2^2 - 1^2) + (1^2 - 5^2) = 8$$

$$|e2 - e4| = (3^2 - 1^2) + (1^2 - 1^2) + (2^2 - 5^2) + (2^2 - 3^2) = 10$$

$$|e3 - e4| = (2^2 - 1^2) + (2^2 - 4^2) + (1^2 - 5^2) + (3^2 - 3^2) = 10$$

Ahora agrupo los elementos cuya diferencia sea la más pequeña. En este caso E1 con E2 y vuelvo a calcular otra vez las diferencias.

	[e1,e2]	e3	e4
[e1,e2]		8	10
e3			10
e4			

$|e3 - e4| = 10$  ⇒ lo tengo calculado de antes.

calculados de antes

$$\min(|e1, e3|, |e2, e3|) = \min(11, 8) = 8$$

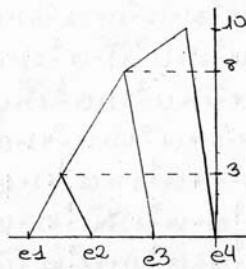
$$\min(|e1, e4|, |e2, e4|) = \min(11, 10) = 10$$

Ahora tendría que agrupar  $[e1, e2]$  con  $e3$  porque la diferencia es menor. Volvemos a calcular las diferencias

	$[e1, e2], e3$	$e4$
$[e1, e2], e3$		10
$e4$		

$$\min(|e1, e4|, |e2, e4|, |e3, e4|) = \min(11, 10, 10) = 10$$

Ya puedo construir el árbol para diferenciar los elementos



Ya hemos aprendido a construir el árbol de los elementos. Ahora vamos a hacer un ejemplo en el que vamos a construir el árbol de elementos y el árbol de características.

Ejemplo. Un experto evalúa distintos ordenadores en función de diversas características.

		Toshiba	IBM	Compaq	HP	Fujitsu	Dell	
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	
c1	Barato	4	1	3	4	1	2	Caro
c2	Ligero	3	4	3	2	1	5	Pesado
c3	Pantalla resolución alta	4	3	4	2	1	5	Pantalla resolución baja
c4	Disco duro suficiente	5	2	1	4	3	1	Disco duro escaso
c5	Teclado manejable	5	3	4	2	1	4	Teclado no manejable
c6	Procesador rápido	3	2	4	5	1	2	Procesador lento

Voy a hacer la matriz de distancias para realizar el árbol de elementos:

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1		11	7	9	16	11
E2			8	12	9	6
E3				10	15	6
E4					11	16
E5						15
E6						

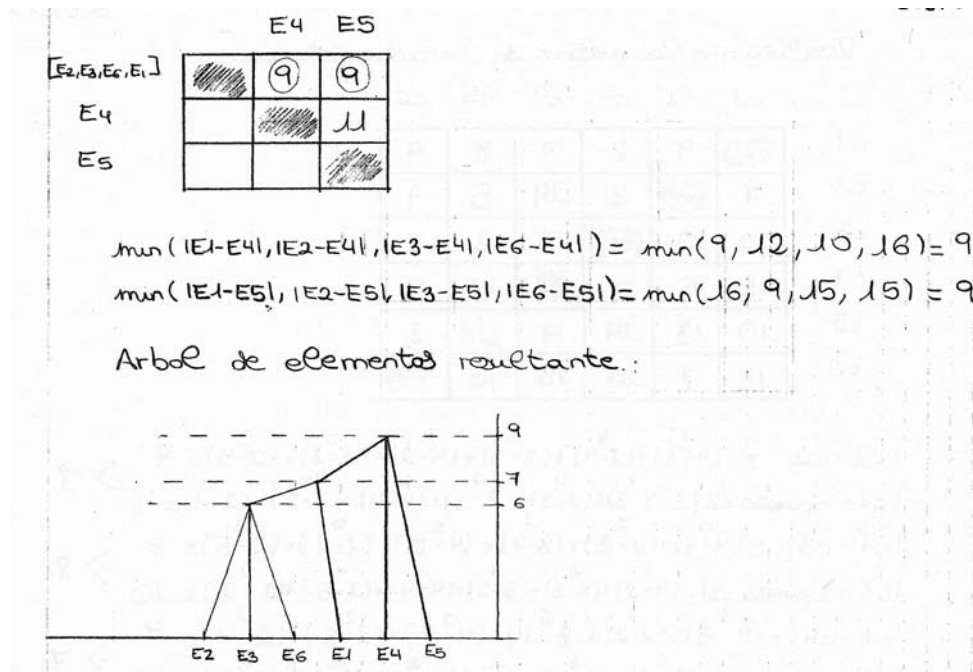
$$\begin{aligned}
 |E1-E2| &= (4-1) + (3-4) + (4-3) + (5-2) + (5-3) + (3-2) = 11 \\
 |E1-E3| &= (4-1) + (3-3) + (4-4) + (5-1) + (5-4) + (3-4) = 7 \\
 |E1-E4| &= (4-4) + (3-2) + (4-2) + (5-4) + (5-2) + (3-5) = 9 \\
 |E1-E5| &= (4-1) + (3-2) + (4-3) + (5-2) + (5-1) + (3-1) = 16 \\
 |E1-E6| &= (4-2) + (3-5) + (4-5) + (5-1) + (5-4) + (3-2) = 11 \\
 |E2-E3| &= (1-3) + (4-3) + (3-4) + (2-1) + (3-4) + (2-4) = 8 \\
 |E2-E4| &= (1-4) + (4-2) + (3-2) + (2-4) + (3-2) + (2-5) = 12 \\
 |E2-E5| &= (1-1) + (4-1) + (3-1) + (2-3) + (3-1) + (2-1) = 9 \\
 |E2-E6| &= (1-2) + (4-1) + (3-5) + (2-1) + (3-4) + (2-2) = 6 \\
 |E3-E4| &= (3-4) + (3-2) + (4-2) + (1-4) + (4-2) + (4-5) = 10 \\
 |E3-E5| &= (3-1) + (3-2) + (4-1) + (1-3) + (4-1) + (4-1) = 15 \\
 |E3-E6| &= (3-2) + (3-5) + (4-5) + (1-1) + (4-4) + (4-2) = 6 \\
 |E4-E5| &= (4-1) + (2-1) + (2-1) + (4-3) + (2-1) + (5-1) = 11 \\
 |E4-E6| &= (4-2) + (2-5) + (2-5) + (4-1) + (2-4) + (5-2) = 16 \\
 |E5-E6| &= (1-2) + (1-5) + (1-5) + (3-1) + (1-4) + (1-2) = 15
 \end{aligned}$$

Tengo dos mínimos:  $[E2, E6]$  y  $[E3, E6]$ . Calculo otra matriz con estas agrupaciones.

	$[E2, E6]$	E1	E4	E5
$[E2, E6]$		7	10	9
E1			9	16
E4				11
E5				

$$\begin{aligned}
 \min(|E2-E1|, |E3-E1|, |E6-E1|) &= \min(11, 7, 11) = 7 \\
 \min(|E2-E4|, |E3-E4|, |E6-E4|) &= \min(12, 10, 16) = 10 \\
 \min(|E2-E5|, |E3-E5|, |E6-E5|) &= \min(9, 15, 15) = 9
 \end{aligned}$$

Agrupamos con E1.



Ahora voy a calcular el árbol de características

Calculo los opuestos de los valores que tengo en la tabla

1	2	3	4	5
5	4	3	2	1

y los marco en la tabla

	E1	E2	E3	E4	E5	E6
c1	4	2	3	4	1	2
c2	3	3	2	3	4	5
c3	4	2	3	2	4	5
c4	5	1	4	5	2	3
c5	5	1	3	2	4	5
c6	3	2	4	5	1	2

Parto de estos datos

Realizamos la matriz de características:

	c1	c2	c3	c4	c5	c6
c1		9	8	7	8	4
c2	7		3	14	5	9
c3	10	13		13	2	8
c4	15	6	7		11	9
c5	10	13	14	9		8
c6	14	7	10	13	10	

$$\begin{aligned}
 |c1 - c2| &= (4^1-3) + (1^3-4) + (3^0-3) + (4^2-2) + (1^0-1) + (2^3-5) = 9 > 7 \\
 |c1 - \text{opuesto } c2| &= (4^1-3) + (1^1-2) + (3^0-3) + (4^0-4) + (1^4-5) + (2^1-1) = 7 \\
 |c1 - c3| &= (4^0-4) + (1^2-3) + (3^1-4) + (4^2-2) + (1^0-1) + (2^3-5) = 8 > 8 \\
 |c1 - \text{opuesto } c3| &= (4^2-2) + (1^2-3) + (3^1-2) + (4^0-4) + (1^4-5) + (2^1-1) = 10 \\
 |c1 - c4| &= (4^1-5) + (1^1-2) + (3^2-1) + (4^0-4) + (1^2-3) + (2^1-1) = 7 > 7 \\
 |c1 - \text{opuesto } c4| &= (4^3-1) + (1^3-4) + (3^2-5) + (4^2-2) + (1^2-3) + (2^3-5) = 15 \\
 |c1 - c5| &= (4^1-5) + (1^2-3) + (3^1-4) + (4^2-2) + (1^0-1) + (2^2-4) = 8 > 8 \\
 |c1 - \text{opuesto } c5| &= (4^3-1) + (1^2-3) + (3^1-2) + (4^0-4) + (1^4-5) + (2^2-2) = 10 \\
 |c1 - c6| &= (4^1-3) + (1^1-2) + (3^1-4) + (4^1-5) + (1^0-1) + (2^0-2) = 4 > 4 \\
 |c1 - \text{opuesto } c6| &= (4^1-3) + (1^3-4) + (3^1-2) + (4^3-1) + (1^4-5) + (2^2-4) = 14 \\
 |c2 - c3| &= (3^1-4) + (4^1-3) + (3^1-4) + (2^0-2) + (1^0-1) + (5^0-5) = 3 > 3 \\
 |c2 - \text{opuesto } c3| &= (3^1-2) + (4^1-3) + (3^1-2) + (2^2-4) + (1^4-5) + (5^1-1) = 13 \\
 |c2 - c4| &= (3^2-5) + (4^2-2) + (3^2-1) + (2^2-4) + (1^2-3) + (5^1-1) = 14 > 6 \\
 |c2 - \text{opuesto } c4| &= (3^2-1) + (4^2-4) + (3^2-5) + (2^0-2) + (1^2-3) + (5^0-5) = 6
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |c2 - c5| &= (3^2-5) + (4^1-3) + (3^1-4) + (2^0-2) + (1^0-1) + (5^1-4) = 5 > 5 \\
 |c2 - \text{opuesto } c5| &= (3^2-1) + (4^1-3) + (3^1-2) + (2^2-4) + (1^4-5) + (5^2-2) = 13 \\
 |c2 - c6| &= (3^0-3) + (4^2-2) + (3^1-4) + (2^3-5) + (1^0-1) + (5^3-2) = 9 > 7 \\
 |c2 - \text{opuesto } c6| &= (3^0-3) + (4^2-4) + (3^1-2) + (2^1-1) + (1^4-5) + (5^1-4) = 7 \\
 |c3 - c4| &= (4^1-5) + (3^2-1) + (4^3-1) + (2^2-4) + (1^2-3) + (5^1-1) = 13 > 7 \\
 |c3 - \text{opuesto } c4| &= (4^3-1) + (3^1-4) + (4^1-5) + (2^0-2) + (1^2-3) + (5^0-5) = 7 \\
 |c3 - c5| &= (4^1-5) + (3^0-3) + (4^0-4) + (2^0-2) + (1^0-1) + (5^1-4) = 2 > 2 \\
 |c3 - \text{opuesto } c5| &= (4^3-1) + (3^0-3) + (4^2-2) + (2^2-4) + (1^4-5) + (5^3-2) = 14 \\
 |c3 - c6| &= (4^1-3) + (3^1-2) + (4^0-4) + (2^3-5) + (1^0-1) + (5^3-2) = 8 > 8 \\
 |c3 - \text{opuesto } c6| &= (4^1-3) + (3^1-4) + (4^2-2) + (2^1-1) + (1^4-5) + (5^1-4) = 10 \\
 |c4 - c5| &= (5^0-5) + (2^1-3) + (1^3-4) + (4^2-2) + (3^2-1) + (1^3-4) = 11 > 9 \\
 |c4 - \text{opuesto } c5| &= (5^4-1) + (2^1-3) + (1^1-2) + (4^0-4) + (3^2-5) + (1^1-2) = 9 \\
 |c4 - c6| &= (5^2-3) + (2^0-2) + (4^3-4) + (4^1-5) + (3^2-1) + (1^1-2) = 9 > 9 \\
 |c4 - \text{opuesto } c6| &= (5^2-3) + (2^2-4) + (4^1-2) + (4^3-1) + (3^2-5) + (1^3-4) = 13 \\
 |c5 - c6| &= (5^2-3) + (3^1-2) + (4^0-4) + (2^3-5) + (1^0-1) + (4^2-2) = 8 \\
 |c5 - \text{opuesto } c6| &= (5^2-3) + (3^1-4) + (4^2-2) + (2^1-1) + (1^4-5) + (4^0-4) = 10
 \end{aligned}$$

Ahora construimos la matriz con los valores mínimos, para luego ver porque características vamos a agrupar.

	c1	c2	c3	c4	c5	c6
c1		7	8	7	8	4
c2			3	6	5	7
c3				7	2	8
c4					9	9
c5						10
c6						

Agrupamos c3 con c5.

← 8



	<del>[c3, c5]</del>	c1	c2	c4	c6
<del>[c3, c5]</del>	<del></del>	8	③	7	8
c1		<del></del>	7	7	4
c2			<del></del>	6	7
c4				<del></del>	9
c6					<del></del>

Agrupamos c2 con (c3, c5)

$\min(|c3, c1|, |c5, c1|) = \min(8, 8) = 8$   
 $\min(|c3, c2|, |c5, c2|) = \min(3, 5) = 3$   
 $\min(|c3, c4|, |c5, c4|) = \min(7, 9) = 7$   
 $\min(|c3, c6|, |c5, c6|) = \min(8, 10) = 8$

	<del>[c2, c3, c5]</del>	c1	c4	c6
<del>[c2, c3, c5]</del>	<del></del>	7	6	7
c1		<del></del>	7	④
c4			<del></del>	9
c6				<del></del>

Agrupamos c1 con c6

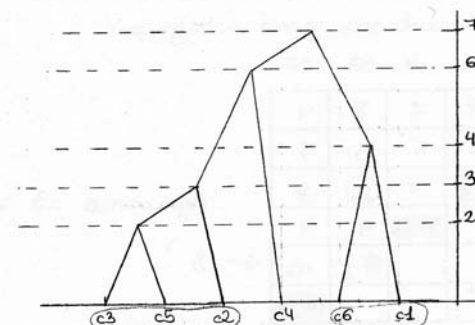
$\min(|c2, c1|, |c3, c1|, |c5, c1|) = \min(7, 8) = 7$   
 $\min(|c2, c4|, |c3, c4|, |c5, c4|) = \min(6, 7) = 6$   
 $\min(|c2, c6|, |c3, c6|, |c5, c6|) = \min(7, 8) = 7$

	<del>[c2, c3, c5]</del>	<del>[c1, c6]</del>	c4
<del>[c2, c3, c5]</del>	<del></del>	7	⑥
<del>[c1, c6]</del>		<del></del>	7
c4			<del></del>

Agrupamos c4 con [c2, c3, c5]

$\min(|c2, c3, c5|, c1|, |c2, c3, c5|, c6|) = \min(7, 7) = 7$   
 $\min(|c1, c4|, |c6, c4|) = \min(7, 9) = 7$

Ya puedo realizar el árbol de características.



El resultado no es coherente porque c1 y c6 son incompatibles.  
No es lógico que un procesador rápido y barato vayan juntos.

## Ánálisis de protocolos

La ventaja de esta técnica es que puede usarse complementariamente con otras. Su método está en que va más allá de lo que un experto explícitamente contaría en una situación de solución de un problema para permitir inferencias acerca de los conocimientos que está utilizando, pero no pueden verbalizarse consecuentemente. Es particularmente útil para extraer información sobre heurísticas que el experto utiliza en la solución de problemas, pero que no puede explicar.

Una vez obtenidos los protocolos, éstos deben analizarse. El fin de obtener un protocolo estriba en identificar los tipos de objetos que el experto ve, las relaciones que existen entre esos objetos y los tipos de inferencia extraídos de las relaciones vistas. Después de la transcripción de esas sesiones acerca de: los conceptos, sus relaciones y los pasos de razonamiento que el experto va mostrando poco a poco, se concibe un modelo de sus inferencias y forma de actuar en la resolución del problema.

Resumen, la técnica consiste en grabar, en un protocolo, el comportamiento del experto mientras trabaja en la solución del problema, y ese protocolo se transcribe y analiza para, finalmente, convertirlo en un conjunto de razonamientos que llevan a la solución del problema. Reconstruyendo esta solución, pueden modelarse los conocimientos del experto.

El protocolo puede ser de distintos tipos entre los que caben destacar: la copia literal, el parafraseado o copia de contenido semántico, la inferencia o generación de una verbalización a partir de la información utilizable, y el recuerdo o recuperación de la información previamente considerada.

Existen dos variantes del análisis del protocolo. La de Myrers, Fox, Pegram y Greaves, que no involucran inferencias reconstructivas, y consiste en tomar transcripciones del protocolo, grabadas, y poner al descubierto, mediante un editor de textos, lo más destacable de su contenido, que es codificado directamente en forma de reglas. Sin embargo, se observó que realizar el análisis en una sola fase, como este método sugiere, resulta muy perturbador para el proceso, surgiendo entonces una variante consistente en un análisis en dos fases. En la primera se le plantean al experto problemas concretos, y se le pide que diga todas las decisiones que tomó en la solución de los mismos, con los que se hace una lista. Con esta idea se construyen las partes derechas de las reglas. En la segunda, se examina con el experto cada secuencia de acciones registrada y se le pregunta por qué tomó esas acciones y no otras plausibles. Las respuestas obtenidas conforman la parte izquierda de las reglas. Una vez extraídas las condiciones y acciones para cada regla, se le presentan conjuntamente al experto para generalizarlas.

El análisis de protocolos no es adecuado para todo tipo de tareas. Ericson y Simon detallan cuidadosamente el tipo de tareas para las cuales el acto de pensar en voz alta puede ser una forma aceptable y útil de educación de conocimientos. Concretamente, aquellas tareas para las cuales la verbalización es una parte natural del pensamiento, son justo en las que se puede tomar el pensamiento en voz alta como datos. Es decir, si se produce la información verbal mientras alguien efectúa inferencias, o al identificar características sobresalientes de los objetos en una situación, entonces la información obtenida a partir de los protocolos contienen informaciones aceptables.

Sin embargo, hay otros tipos de tareas, por ejemplo, aquellas que usan en el proceso un lenguaje especial para las partes de la pieza que están describiendo o la sección que actualmente están instanciando, para las cuales el proceso de pensar en voz alta y explicarlo puede ser distorsionante o erróneo. Y, por descontado, hay tareas para las cuales no existe una verbalización natural, las tareas perceptivomotoras son ejemplo de ello. La verbalización de estas tareas obliga a atender a aspectos que normalmente no se les presta atención y esta atención requerida para reportar el proceso naturalmente automático, usurpa recursos habitualmente dedicados a la propia tarea, con la consiguiente distorsión de todo el proceso. Piénsese en el caso de que se quiera grabar el protocolo de una persona caminando.

Es cuestionable el determinar si el AP es realmente una técnica formal en sentido estricto, o no. Fue descrita, en primer lugar, por Newell y Simon en 1972, como método que registra el comportamiento de un solucionador de problemas en el proceso de solución, para luego analizar ese registro o protocolo, con el propósito de identificar los estados solución a través de los que pasa el solucionador durante el análisis. El método de pasar de un estado al siguiente es entonces establecido en forma de reglas de producción. Esta estructura formal impone una cierta disciplina en el proceso de adquisición de modo que, si un experto no ha mencionado explícitamente algunas piezas de conocimientos o algunos procedimientos, su ausencia se percibe en el modelo formal. Por otro lado, como se sabe, no todos los conocimientos pueden ser fácilmente representados en forma de reglas.

## Etapas en el Análisis de Protocolos

La técnica de AP se aplica en las cuatro etapas siguientes:

1. Grabación del protocolo.
2. Transcripción
3. Codificación
4. Interpretación

## Ejemplo

El siguiente es un ejemplo de análisis de protocolos en un dominio real. Más concretamente, se trata de un dominio médico relacionado con la ginecología.

### *Paso 1: Grabación del protocolo*

- El IC explica lo que espera del experto
- Puesta en situación
- Registro del protocolo

*Este caso me ocurrió estando de guardia en el hospital. Era una señora de unos cuarenta y pico años que estaba muy enferma. Venía con un dolor punzante, casi desgarrador, muy pálida, y con un malestar general importante. Como no tenía fiebre, la pasaron a Ginecología.*

*En un primer reconocimiento, me dijo que hacía mucho tiempo que tenía retrasos en la regla, y que no sabía si estaba embarazada. Por lo tanto, la primera prueba fue un test de embarazo, que dio positivo. A continuación, pasé a explorarla. Tenía unos dolores fortísimos a la palpación abdominal, pero no presentaba rebote, y, en especial al mover el cuello del útero. Así mismo, se palpaba una masa uterina, y el fornix posterior de la vagina estaba abombado, lo que indica que hay algo dentro, que generalmente suele ser sangre. Así mismo, la paciente indicó que sentía dolor en el hombro, signo inequívoco de rotura. La paciente no tenía hipotensión, lo que indicaba que el volumen de sangre perdido no era mucho.*

*Al producirse una rotura (o en general, en cualquier caso de peritonitis), se produce una pérdida de sangre dentro de la cavidad abdominal, lo cual provoca una presión sobre el diafragma que nos da como resultado el dolor en el hombro. En los casos de embarazo ectópico, suele ser un síntoma muy significativo y grave.*

*En estos casos, la sangre se acumula dentro. De ahí viene la masa pélvica que se palpaba. En este caso, era de unos 10 cm de diámetro. Sí había tenido hemorragia, pero ella la atribuyó a sus habituales. Esta hemorragia no había sido muy profusa (tanto que ni siquiera fue al médico), así que inmediatamente descarté un aborto intrauterino.*

*El caso estaba bastante claro y no había dudas. Se trataba de un emvarazo ectópico que había provocado la rotura de una de las trompas. Ni siquiera le hicimos una laparoscopia. Pasó inmediatamente al quirófano y operamos. En estos casos, la operación inmediata es fundamental*

### *Paso 2: Transcripción del protocolo*

En el curso de esta etapa, el IC escucha la grabación y transcribe el protocolo segmentándolo. Conviene también indicar sobre la transcripción las observaciones hechas sobre el comportamiento del experto en el momento de la resolución del problema (por ejemplo, se pueden poner puntos suspensivos cuando el experto hace silencios de más de 3 segundos).

Líneas	Texto
1	Estando de guardia en el hospital.
2	Señora de unos cuarenta y pico años.
3	Dolor punzante, casi desgarrador...
4	muy pálida...
5	y con un malestar general importante.
6	Como no tenía fiebre,
7	la pasaron a Ginecología.
8	<u>En un primer reconocimiento...</u>
9	hacía mucho tiempo que tenía retrasos en la regla...
10	y que no sabía si estaba embarazada.
11	<u>Por lo tanto,</u>
12	la primera prueba fue un test de embarazo.
13	que dio positivo.
14	<u>A continuación...</u>
15	explorarla.
16	Dolores fortísimos...
17	a la palpación abdominal...
18	en especial al mover el cuello del útero...
19	pero no presentaba rebote.



Lineas	Texto
20	<u>Así mismo...</u>
21	se palpaba una masa uterina.
22	y el fornix posterior de la vagina estaba abombado.
23	<u>lo que indica que hay algo dentro.</u>
24	que generalmente suele ser sangre.
25	<u>Así mismo.</u>
26	indicó que sentía dolor en el hombro.
27	signo inequívoco de rotura.
28	La paciente no tenía hipotensión.
29	<u>lo que indica que...</u>
30	el volumen de sangre perdido no era mucho.
31	Al producirse una rotura...
32	(en general, en cualquier caso de peritonitis)...
33	se produce una pérdida de sangre...
34	dentro de la cavidad abdominal.
35	<u>lo cual provoca...</u>
36	una presión sobre el diafragma...
37	que da como resultado...
38	el dolor en el hombro.
39	<u>En los casos de embarazo ectópico,</u>
40	<u>suele ser un síntoma</u>
41	muy significativo y grave.
42	<u>En estos casos,</u>
43	la sangre se acumula dentro.
44	<u>De ahí viene...</u>
45	la masa pélvica que se palpaba.
46	<u>En este caso,</u>
47	unos 10 cm de diámetro.
48	Si había tenido hemorragia.
49	pero ella lo atribuyó...
50	a sus habituales «desarreglos».
51	Esta hemorragia...
52	no había sido muy profusa
53	(tanto que ni siquiera fue al médico).
54	así que...
55	inmediatamente descarté un aborto intrauterino.
56	El caso estaba bastante claro y no había dudas.
57	Se trataba de un embarazo ectópico...
58	<u>que había provocado...</u>
59	la rotura de una de las trompas.
60	Ni siquiera le hicimos un laparoscopia.
61	<u>Paso inmediatamente</u>
62	al quirófano y la operamos.
63	<u>En estos casos,</u>
64	la operación inmediata es fundamental.

Lo que está subrayado se trata aparte para darle más importancia, debido a los matices que tiene y que se podían perder o no tenerse en cuenta si lo poníamos en una misma fila con el resto de una frase.

### Paso 3: Codificación del protocolo

La codificación debe hacerse de la forma más objetiva posible, procediendo línea a línea y esforzándose en abstraerse del contexto. Una solución para asegurar esta objetividad es hacer codificar el protocolo por varios individuos por separado y, a continuación, unificar los resultados.

#### 3.a. Identificación de conceptos, características, valores y relaciones

Los objetos aparecen, frecuentemente, en el grupo nominal de la frase, las relaciones en el verbal y los valores en el grupo objeto.



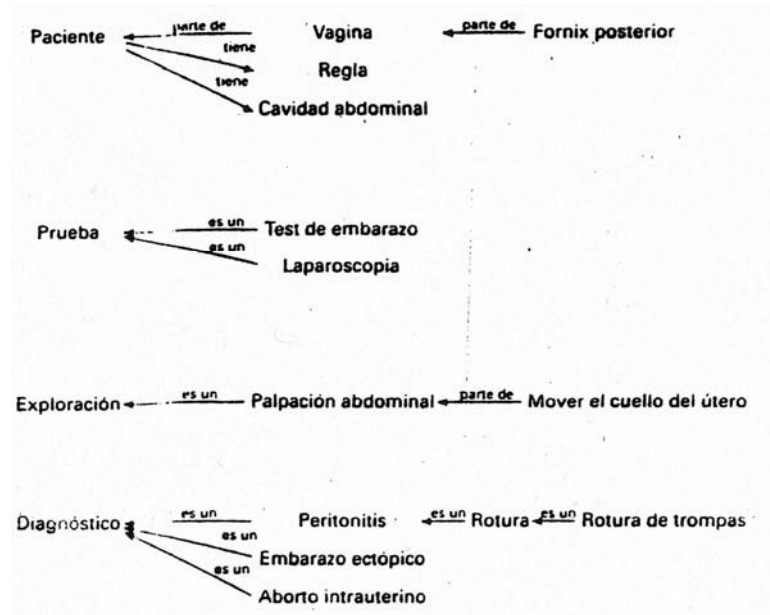
Elementos del protocolo:

Texto		Texto	
<i>Hospital</i>	Concepto	<i>vagina</i>	Concepto
<i>Señora</i>	Concepto	<i>abombado</i>	Valor
<i>cuarenta y pico años</i>	Valor	<i>indica que generalmente</i>	
<i>Dolor</i>	Característica	<i>hay</i>	Operador
<i>punzante</i>	Valor	<i>sangre</i>	Concepto
<i>casi desgarrador</i>	Valor	<i>dolor en el hombro</i>	Característica
<i>muy pálida</i>	Valor	<i>signo inequívoco</i>	Operador
<i>malestar general impor-</i>		<i>rotura</i>	Concepto
<i> tante</i>	Valor	<i>La paciente</i>	Concepto
<i>no tenía</i>	Valor	<i>no tenía</i>	Valor
<i>fiebre</i>	Característica	<i>hipotensión</i>	Característica
<i>la pasaron</i>	Operador	<i>lo que indicaba que</i>	Operador
<i>Ginecología</i>	Valor	<i>volumen de sangre per-</i>	
<i>reconocimiento</i>	Concepto	<i>dido</i>	Característica
<i>hacia mucho tiempo</i>	Valor	<i>no era mucho</i>	Valor
<i>tenía</i>	Relación	<i>rotura</i>	Concepto
<i>retrasos</i>	Característica	<i>caso de</i>	Relación
<i>regla</i>	Concepto	<i>peritonitis</i>	Concepto
<i>no sabía</i>	Valor	<i>se produce</i>	Operador
<i>embarazada</i>	Característica	<i>sangre</i>	Concepto
<i>la primera prueba</i>	Concepto	<i>cavidad abdominal</i>	Concepto
<i>fue</i>	Relación	<i>lo cual provoca</i>	Operador
<i>test de embarazo</i>	Concepto	<i>una presión sobre el dia-</i>	
<i>positivo</i>	Valor	<i>fragma</i>	Característica
<i>explorarla</i>	Concepto	<i>que da como resultado</i>	Operador
<i>Dolores</i>	Característica	<i>dolor en el hombro</i>	Característica
<i>fortísimos</i>	Valor	<i>embarazo ectópico</i>	Concepto
<i>palpación abdominal</i>	Concepto	<i>suele ser</i>	Operador
<i>en especial</i>	Valor	<i>síntoma</i>	Característica
<i>mover el cuello del útero</i>	Concepto	<i>muy significativo y grave</i>	Operador
<i>no presentaba</i>	Valor	<i>masa pélvica</i>	Concepto
<i>rebote</i>	Característica	<i>10 cm.</i>	Valor
<i>masa uterina</i>	Característica	<i>diámetro</i>	Característica
<i>fornix posterior</i>	Concepto	<i>hemorragia</i>	Característica
<i>no muy profusa</i>	Valor	<i>Se trataba de</i>	Operador
<i>tanto que</i>	Operador	<i>embarazo ectópico</i>	Concepto
<i>fue al médico</i>	Característica	<i>había provocado</i>	Operador
<i>ni siquiera</i>	Valor	<i>la rotura de una de las</i>	
<i>inmediatamente des-</i>		<i>trompas</i>	Concepto
<i>carté</i>	Operador	<i>laparoscopia</i>	Concepto
<i>aborto intrauterino</i>	Concepto	<i>operación</i>	Valor

Conceptos, características y valores del protocolo:

Concepto	Características	Valores
• Hospital	<i>Servicio</i>	<i>Ginecología</i>
• Paciente	<i>Edad</i>	<i>Cuarenta y pico años</i>
	<i>Dolor</i>	<i>Punzante, casi desgarrador</i>
	<i>Color</i>	<i>Muy pálida</i>
	<i>Estado</i>	<i>Malestar general importante</i>
	<i>Fiebre</i>	<i>No</i>
	<i>Embarazada</i>	<i>Desconocido, sí</i>
	<i>Hipotensión</i>	<i>No</i>
	<i>Volumen de sangre perdido</i>	<i>No mucho</i>
	<i>Dolor en el hombro</i>	<i>Sí</i>
	<i>Hemorragia</i>	<i>No muy profusa</i>
	<i>Fue al médico</i>	<i>No</i>
	<i>Retrasos</i>	<i>Mucho tiempo</i>
• Regla		
• Vagina		
• Cavidad abdominal		
• Sangre		
• Fornix posterior	<i>Aspecto</i>	<i>Abombado</i>
• Masa pélvica	<i>Diámetro</i>	<i>10 cm</i>
• Reconocimiento		
• Prueba		
• Test de embarazo	<i>Resultado</i>	<i>Positivo</i>
• Laparoscopia		
• Exploración		
• Palpación abdominal	<i>Dolor</i>	<i>Fortísimo</i>
	<i>Rebote</i>	<i>No present</i>
	<i>Masa uterina</i>	<i>Sí</i>
• Mover el cuello del útero	<i>Dolores</i>	<i>Especialmente fuertes</i>
• Diagnóstico		
• Peritonitis	<i>Pérdida de sangre en cavidad abdominal</i>	
	<i>Presión sobre el diafragma</i>	
	<i>Síntoma</i>	<i>Dolor en el hombro</i>
• Rotura		
• Rotura de trompas	<i>Síntoma</i>	<i>Dolor en el hombro</i>
• Embarazo ectópico	<i>Sangre acumulada</i>	
	<i>Tratamiento</i>	<i>Operación inmediata</i>
• Aborto intrauterino		

Las relaciones del protocolo son:



### 3.b. Identificación de la búsqueda

Analizando el protocolo, se puede comprobar que el experto sigue una línea de búsqueda en la que, sucesivamente, plantea hipótesis de diagnóstico, que va comprobando a partir de indicios que aumenten o disminuyan su credibilidad.

Partiendo de los síntomas descritos en urgencias por la paciente, lo primero que hace, antes de plantear cualquier otro tipo de actuación, es determinar si la paciente está embarazada.

A continuación la explora, intentando determinar la procedencia y localización de los dolores, y verificando la existencia de masa uterina.

Plantea la hipótesis de que la paciente tenga una peritonitis y la consiguiente hemorragia, y lo intenta confirmar verificando que existe dolor en el hombro o que existe hipotensión.

Una vez confirmada la hemorragia, plantea dos hipótesis de diagnóstico: el embarazo ectópico o el aborto intrauterino. Para confirmarlas, intenta determinar la profusión de la hemorragia, lo cual le lleva a decantarse sin dudas por la primera.

### 3.c. Identificación de los operadores

Los operadores son los medio usados por el experto para generar nuevos estados e informaciones. Los operadores permiten el paso de un estado del problema a otro.

Como se ha mencionado con anterioridad, en un protocolo, los operadores son fácilmente identificables al tratarse de los medios de los que se vale el experto para asignar valores a nuevas características, pasando de un estado a otro más próximo a la solución buscada. Ahora bien, también se ha comentado que es frecuente que los

operadores que verdaderamente aplica el experto no aparezcan explícitamente en el texto. Por ejemplo, no es normal que una persona utilice una frase como:

*Como la paciente no presenta hipotensión, **asignar** a volumen de sangre perdido: no mucho.*

Más bien, recurriría a una construcción del tipo:

*La paciente no presentaba hipotensión, **lo que indicaba** que el volumen de sangre perdido no era mucho.*

Al analizar el protocolo, se identifica *lo que indicaba* como un operador aplicado por el experto. Sin embargo, enmascarado tras él, subyace un operador de asignación de un valor a una característica.

En otros casos, los operadores especifican el grado en que se puede asegurar que se da una relación. Por ejemplo, el experto dice:

*El dolor en el hombre **suele ser** síntoma de embarazo ectópico.*

Esto equivaldría a decir:

*Si tiene dolor de hombreo, entonces el diagnóstico es-un embarazo ectópico **aumenta en credibilidad**.*

donde el operador es *aumentar la credibilidad* de una relación.

Así mismo, pueden darse casos en los que un operador lleva asociado algún tipo de método que debe ejecutarse, bien para poderse utilizar o como consecuencia de su aplicación. Por ejemplo:

*Como no tenía fiebre **la pasaron** a ginecología.*

Aquí el operador podría consistir en una simple asignación *servicio:=ginecología*. Ahora bien, este operador no se puede aplicar si antes no se trasladaba físicamente a la paciente, por lo que existirá un método encargado de llevar a cabo dicha operación. EN este caso, la frase se podría construir de la manera siguiente:

*Si no tiene fiebre, entonces trasladar la paciente a ginecología y **asignar servicio:=ginecología**.*

Finalmente, hay numerosas ocasiones en las que el operador aparece implícito en la propia estrategia del experto. Si se toma aisladamente la frase:

*Se palpaba una masa uterina, y el fornix posterior de la vagina estaba abombado, lo que indica que hay algo dentro, que generalmente suele ser sangre.*

Se puede entender de la siguiente manera:

*Como se palpaba una masa uterina, y el fornix posterior de la vagina estaba abombado, entonces sangre dentro **aumenta en credibilidad**.*

Sin embargo, observando el proceder del experto, y entendiendo que para él la presencia de sangre es señal de rotura, se podría haber utilizado esta otra forma:

*Como se palpaba una masa uterina, y el fornix posterior de la vagina estaba abombado, entonces **establecer hipótesis** diagnóstico es-una rotura.*

Aquí el operador especifica que existen indicios para pensar que la paciente tiene una rotura, y que la meta del experto consiste en confirmar o rechazar esa hipótesis.

En el protocolo del ejemplo, se pueden identificar los siguientes operadores:

- Asignación de un valor a una característica.
- Aumentar la credibilidad de una relación o de una asignación.
- Otorgar certeza absoluta a una relación.
- Descartar una relación.
- Establecer una hipótesis.

### 3.d. Identificación de las inferencias

A la hora de identificar las inferencias, el IC no debe dejarse llevar por su entendimiento del caso, sino ceñirse a aquellas inferencias que de forma explícita aparecen en el texto. Para el ejemplo se tienen:

- SI paciente.fiebre = no  
ENTONCES trasladar(paciente, ginecología)  
asignar(servicio, ginecología)
- SI paciente.embarazada = desconocido  
ENTONCES asignar(paciente.embarazada, hacer(test de embarazo))
- SI palpación-abdominal.masa = si Y fornix-posterior.aspecto=abombado  
ENTONCES aumentar-credibilidad(cavidad-abdominal tiene sangre)
- SI paciente.dolor- hombro = sí  
ENTONCES certeza-absoluta(diagnóstico es-una rotura)
- SI paciente.hipertensión = no  
ENTONCES asignar(paciente.volumen-sangre-perdido, no-mucho)
- SI diagnóstico es-una rotura  
ENTONCES certeza-absoluta(cavidad-abdominal tiene sangre)
- SI cavidad-abdominal tiene sangre  
ENTONCES certeza-absoluta(presión-sobre-diafragma)
- SI presión-sobre-diafragma  
ENTONCES certeza-absoluta(paciente.dolor-hombro = sí)



- SI paciente.dolor-hombro = si  
ENTONCES *aumentar-credibilidad* (diagnóstico es-un embarazo-ectópico)
- SI cavidad-abdominal tiene sangre  
ENTONCES *certeza-absoluta* (palpación-abdominal.masa = si)
- SI paciente.fue-médico = no  
ENTONCES *aumentar-credibilidad* (paciente.hemorragia = no-profusa)
- SI paciente.hemorragia = no-profusa  
ENTONCES *descartar* (diagnóstico es-un aborto-intrauterino)  
*certeza-absoluta* (diagnóstico es-un embarazo-ectópico)  
*certeza-absoluta* (diagnóstico es-un rotura de trompas)
- SI diagnóstico es-un embarazo-ectópico Y diagnóstico es-un rotura de trompas  
ENTONCES *certeza-absoluta* (tratamiento es-una operación)

### 3.e. Sinónimos, metacomentarios e incertidumbres

*Sinónimos.* En el contexto del ejemplo, se pueden identificar los siguientes:

- Señora y paciente.
- Masa uterina, algo dentro y masa pélvica.
- Volumen de sangre perdido y profusión de la hemorragia.
- Hemorragia y pérdida de sangre.
- Pasar a quirófano y operar.

*Metacomentarios.* En muchos casos, los metacomentarios son apostillas del experto que revelan los criterios estratégicos que guían su proceso de resolución. Son muy interesantes para identificar submetas, prioridades, preferencias, excepciones, etapas, y, en general, informaciones que permitan comporender el plan. En el ejemplo, se distinguen metacomentarios de distintos tipos, tal y como se muestra en la tabla.

Línea	Texto	Efecto
1	<i>Estando de guardia en el hospital.</i>	Denota el <i>contexto</i> en el que se circunscribe el caso. Puede ser útil para determinar si existen diferencias con casos similares que se desarrollen en otro contexto.
7	<i>la pasaron a Ginecología.</i>	
8 12	<i>En un primer reconocimiento... la primera prueba fue un test de embarazo</i>	Indica la acción a emprender en <i>primer lugar</i> .
14	<i>A continuación...</i>	Denota <i>secuencialidad</i> de etapas o <i>cambio de fase</i> en su estrategia.
20, 25	<i>Así mismo...</i>	Identifica <i>subetapas</i> dentro de una misma fase.
32 39 42, 63	<i>(en general, en cualquier caso de peritonitis)... En los casos de embarazo ectópico En estos casos</i>	Permite generalizar parte del protocolo, extendiéndolo a cualquier caso de un tipo <i>determinado</i> .
47	<i>En este caso,</i>	Especifica el comentario al protocolo concreto.
55 61	<i>Inmediatamente descarté un aborto intrauterino. Pasó inmediatamente</i>	Denota prioridad absoluta del siguiente operador o acción.

*Incertidumbres.* Son los elementos del protocolo a los que el experto asocia incertidumbre.

- *que generalmente suele ser sangre.*
- *suele ser un síntoma.*
- *muy significativo y grave.*

#### *Paso 4: Interpretación*

Es en este paso cuando el IC aporta su entendimiento al análisis del problema. Es el momento de buscar reglas implícitas, detectar estrategias, interpretar el modo de razonamiento del experto, e incluso intentar generalizar el caso. Un mismo protocolo puede dar lugar a distintas interpretaciones, puesto que dependen directamente de la subjetividad del IC.

En el ejemplo, el experto parece utilizar un tipo de razonamiento hipotético. En el primer lugar efectúa un reconocimiento para determinar si está embarazada. En caso de que la paciente desconozca tal hecho, utiliza la inferencia:

- SI paciente.embarazada = desconocido  
ENTONCES *asignar* (paciente.embarazada, hacer (test de embarazo))

A continuación comienza la exploración mediante palpación, y utiliza la inferencia siguiente para establecer una hipótesis:

- SI palpación-abdominal.masa = sí Y fornix-posterior.aspecto=abombado  
ENTONCES *aumentar-credibilidad* (cavidad-abdominal tiene sangre)  
*establecer-hipótesis* (diagnóstico es-una rotura)

Seguidamente intenta demostrar la hipótesis usando el mismo tipo de exploración, y como consecuencia establece nuevas hipótesis:

- SI paciente.dolor-hombro = sí  
ENTONCES *certeza-absoluta* (diagnóstico es-una rotura)  
*establecer-hipótesis* (diagnóstico es-un embarazo-ectópico)  
*establecer-hipótesis* (diagnóstico es-un aborto-intrauterino)

Nuevamente comprueba las hipótesis:

- SI paciente.dolor-hombro = sí  
ENTONCES *aumentar-credibilidad* (diagnóstico es-un embarazo-ectópico)
- SI paciente.hipotensión = no  
ENTONCES *asignar* (paciente.hemorragia = no-profusa)
- SI paciente.fue-médico = no  
ENTONCES *aumentar-credibilidad* (paciente.hemorragia = no-profusa)
- SI paciente.hemorragia = no-profusa  
ENTONCES *descartar* (diagnóstico es-un aborto-intrauterino)  
*certeza-absoluta* (diagnóstico es-un embarazo-ectópico)  
*certeza-absoluta* (diagnóstico es-un rotura de trompas)

Finalmente designa un tratamiento:

- SI diagnóstico es-un embarazo-ectópico Y diagnóstico es-un rotura de trompas  
ENTONCES *certeza-absoluta* (tratamiento es-una operación)

Así mismo, se identifica una metarregla en las primeras líneas del protocolo:

- SI paciente.fiebre = no  
ENTONCES trasladar(paciente, ginecología)  
*asignar* (servicio, ginecología)

## En gupo

### *Adaptación del emparrillado*

Unificación de valores.

Comparación de árboles.

## ***Brainstorming***

Creada a finales de 1930 por Blackett. Ideó una idea para la tecnología radar.

Cibernética: estudio del control de la interacción de animales y máquinas.

*Moderador*: plantea un problema para el que no hay solución conocida.

*Experto*: es experto en ese problema.

La meta es que los expertos sean capaces de generar un nuevo conocimiento, no saber cómo el experto es capaz de resolver dicho problema.

## **Fases**

- Planteamiento del problema.
- Libertad total de presentación de ideas.
- Discusión sobre las ideas.
- Finalmente, seleccionar las mejores ideas.

## ***Técnica nominal de grupo***

Cada participante rellena una ficha y expone sus ideas en dicha ficha.

El moderador hace una exposición de las fichas con las ideas. Después se realiza una discusión secuencial y voluntaria.

Finalmente se adopta una idea.

## ***Entrevistas de grupo***

Similar a las individuales estructuradas.

Un coordinador dirige con :

- Reglas de funcionamiento definidas.
- Discusión dirigida.
- Sumario de respuestas.

## **Ventajas**

- Efecto potenciador.
- Estímulo de participación.
- “Libertad de expresión”.
- Consenso.

## Método Delphi

Parte de la necesidad de cumplir unos objetivos concretos. Necesita un panel de expertos que tienen que cumplir una serie de características que abarquen diferentes áreas.

También se necesita un análisis por parte de los analistas, de lo que se sabe y de lo que se conseguirá.

Debe ser un proceso anónimo hasta que el panel está consolidado.

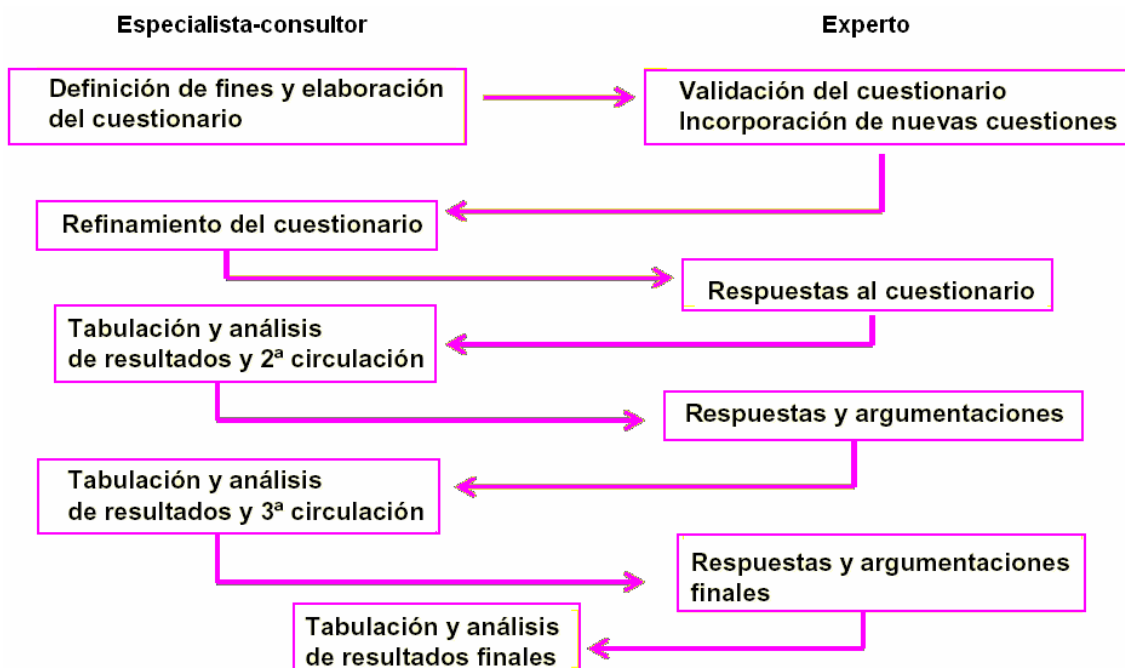
## Proceso Delphi

1. Literatura.
2. Conocimiento.
3. Búsqueda en las bases de datos públicas.
4. Búsqueda en Web.

Toda esta información se le pasa al consultor (Ingeniero del Conocimiento) y éste hace un documento que contendrá:

- Fases
- Fines del trabajo.
- Conocimiento.

A partir de esto, se realizan los cuestionarios.



La reunión del panel consiste en:

- Los expertos se reúnen de 1.5 días a 3 días.



- Se explican objetivos, métodos, agenda...
- El líder revisa las puntuaciones.
- Discusión con panelistas.
- Áreas de acuerdo y desacuerdo.
- Identificación de las indicaciones y cuestiones a debatir y puntuar.
- Se puntúa de nuevo.
- Segunda reunión con debate.

## Método RAND

Se tienen unas indicaciones, unos valores de acierto (a) o no acierto (1-a). Se aplican métodos de medianas, desviaciones típicas, etc.

## Problemas

- Inconsistencias lógicas (por ejemplo, bucles). Se soluciona este problema:
  - Manualmente, con una persona que lo modifique.
  - Con diagramas de flujo.
  - Con verificación automática (coste elevado).
  - Con métodos heurísticos (para disminuir el número de reglas).
- Cambios en el conocimiento científico o empresarial.
- Adaptación a cada entorno de los resultados.
- Disseminación a usuarios (normas legales, comercio, seguridad, salud pública, etc.).

## Con ordenadores

- KDD: Knowledge Discovery in Data.
- Técnica OLAP: Online Analytical Processing.
- Data Mining: Minería de datos en I.A.
  - Inducción.
  - Árboles de decisión.
  - Redes bayesianas.
  - Redes neuronales ~ modelos conexionistas.
- Razonamiento basado en casos (CBR; Case Based Reasoning)

## Editores inteligentes

Objetos estructurados	CYC		
Conocimiento de control	ONCOCIN	Opal	Razonamiento basado en casos
Conocimiento en forma de reglas o marcos	Sistemas expertos MYCIN	Teiresias (experto)	Algoritmos genéticos
Árboles de decisión			ID3
Coeficientes			Redes de neuronas artificiales
	Editores inteligentes	Adquisición interactiva	Métodos automatizados

## Sistemas informáticos de adquisición interactiva

Existen sistemas interactivos que son herramientas construidas para facilitar las anteriores técnicas. Existen sistemas informáticos para todas las técnicas de extracción y educación entre el experto y el IC. Pueden facilitar las entrevistas (Teiresias, Roget), el análisis de protocolos (Kriton, Laps), el emparrillado (Aquinas) o el método delphi (MedKat).

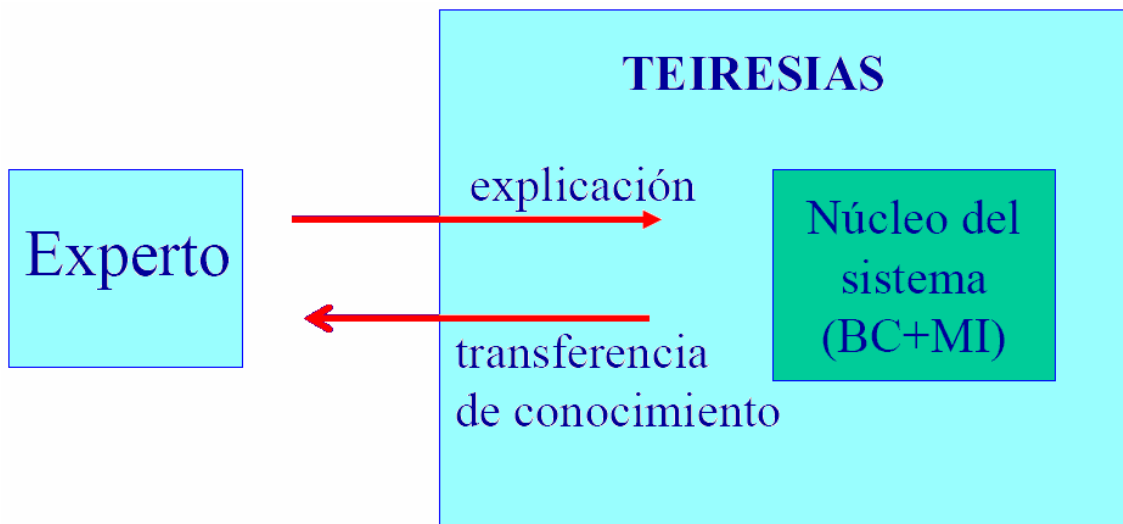
## Técnicas automáticas

- Analogía: aplicación de conocimiento de viejas situaciones para situaciones nuevas (CYC)
- Aprendizaje de novatos: aprender viendo a los expertos solucionar problemas (STUDENT, OPAL...)
- Creación de árboles de clasificación (ID3, CART)
- Selección de ejemplos: con varias técnicas de aprendizaje)
- Aprendizaje basado en explicaciones: deducción de una regla general de un ejemplo simple relacionándolo con una teoría existente
- Algoritmos genéticos: operadores genéticos (mutación, inversión) utilizados para adaptar la conducta de un sistema
- Inducción de modelos desde la experiencia (AM)
- Mimetización de la conducta del experto (INDUCE)
- Inducción de reglas/conocimiento (AQ, AQUINAS)
- Aprendizaje basado en similitudes: aprender similitudes partiendo de conjuntos de ejemplos positivos y diferencias de conjuntos de ejemplos negativos (BLIP, ILROD)

## TEIRESIAS

Es un sistema semiautomático. Fue creado por Randy Davis (Universidad de Standford) en 1977. Está basado en MYCIN y sus modelos.

Teiresias era profeta ciego del Edipo rey de Sófocles, puede penetrar en acontecimientos ocultos al común de los mortales, y posee una forma superior de conocimiento. El sistema experto llamado TEIRESIAS no era capaz de estas "proezas" pero desde luego era un magnifico nombre para un programa de estas características. El cometido de este S.E. (Sistema Experto) no era otro que el de servir de interprete entre MYCIN y los especialistas que lo manejaban, a la hora introducir nuevos conocimientos en su base de datos. El especialista debía utilizar MYCIN de una forma normal, y cuando este cometiera un error en un diagnostico (hecho producido por la falta o fallo de información en el árbol de desarrollo de teorías) TEIRESIAS corregiría dicho fallo destruyendo la regla si es falsa o ampliándola si es eso lo que se necesita.



- Introduce el concepto de meta-conocimiento (el programa “sabe lo que sabe”), es decir, un conocimiento sobre sí mismo.
- El programa usa su conocimiento y además puede examinarlo, razonar sobre él y dirigir su aplicación.
- Utiliza una “transferencia activa de conocimiento experto”.
- El sistema dirige al experto para que éste analice, razone y complete la base de conocimiento del área correspondiente.
- Es un sistema semiautomatizado, dirigido al experto, no al Ingeniero del Conocimiento.

### Metas

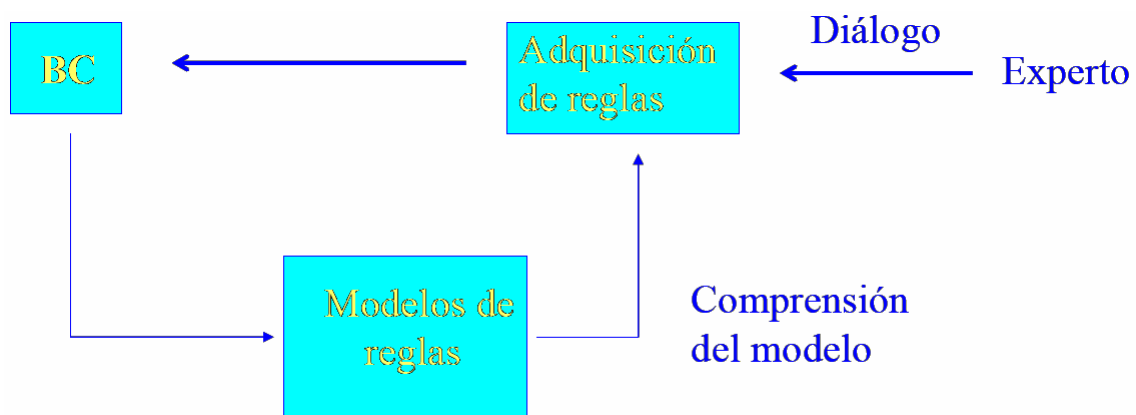
1. Desarrollo de herramientas para mantenimiento de la BC
2. Desarrollo de un asistente inteligente

### Adquisición en TEIRESIAS

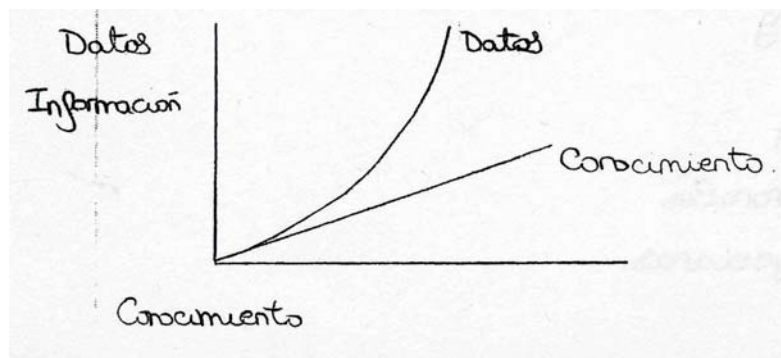
- Uso en dominios sin leyes representables de forma algorítmica (es decir, el S.E. se basa en la experiencia de expertos).
- El conocimiento introducido es comparado con una colección de prototipos y modelos almacenados en el sistema.
- Compara el nuevo conocimiento introducido por el experto con su propia Base de conocimientos, comprobando inconsistencias y aportando sugerencias.

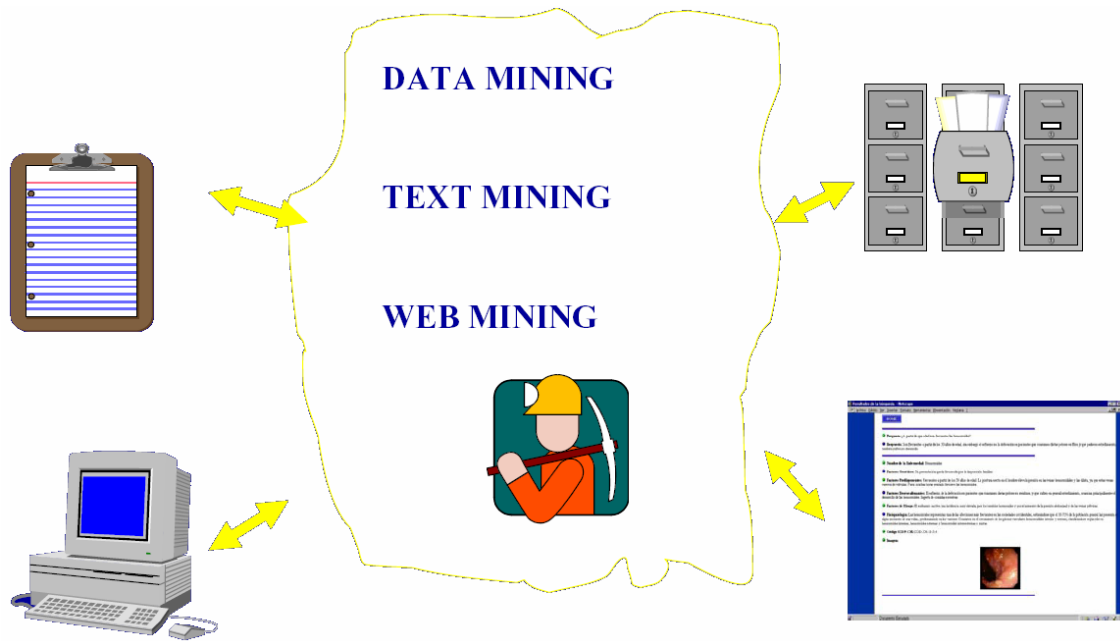
- Registra toda la interacción con el experto y analiza el funcionamiento del sistema con el nuevo conocimiento.
- El experto revisa también su funcionamiento y da su feedback al sistema.
- El sistema consta de un editor para facilitar la interacción del experto y la modificación de la Base de conocimientos.
- El sistema no puede partir de cero. Debe disponer de una BC inicial con la que el experto interactúa.
- Problemas con el uso de lenguaje natural.
- No es posible comprobar eficientemente la consistencia del nuevo conocimiento introducido, aunque el sistema comprueba si “encaja” bien con el modelo existente.

### Modelo de TEIRESIAS



### KDD. Minería de datos





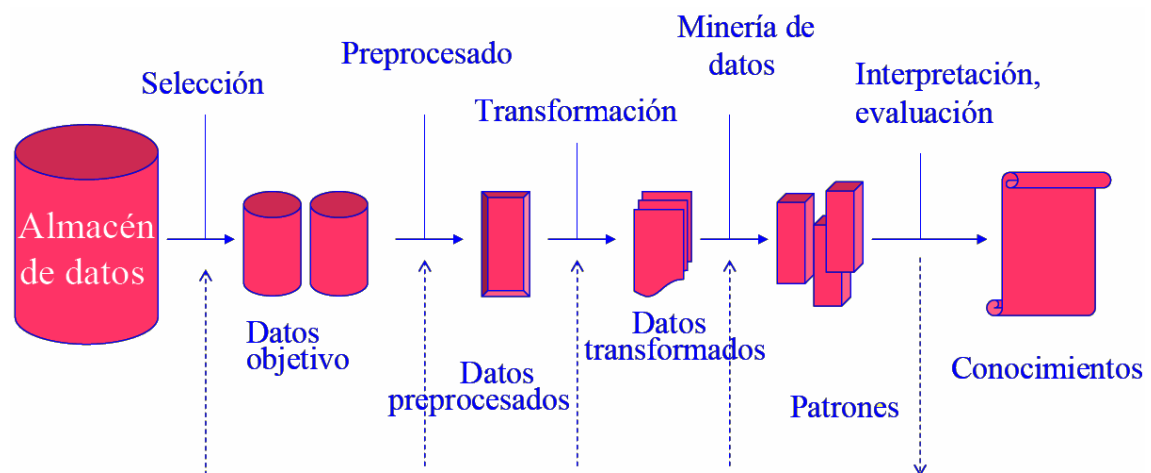
El KDD es, a nivel abstracto, el área relacionada con el desarrollo de teorías, métodos, técnicas y herramientas para extraer conocimientos de bases de datos.

Se pretende analizar datos de bajo nivel para hacerlos:

- compactos (crear informes)
- abstractos (con modelos que permitan manejar más datos)
- útiles (por ejemplo, modelos predictivos)

Tradicionalmente, se ha hecho de manera manual en todas las áreas del conocimiento. Cuando el número de datos crece, se hace imposible (por ejemplo, publicaciones científicas de cualquier área).

## Pasos



Es un proceso interactivo e iterativo con varios pasos:



- Entendimiento del dominio de aplicación.
- Creación de un conjunto de datos diana (selección de un conjunto de datos para su estudio).
- Preprocesado y limpieza de datos (eliminar ruido, estrategias para manejar datos perdidos, etc.).
- Reducción y proyección de los datos (selección de variables a considerar).
- Selección del modelo e hipótesis (los algoritmos que se van a utilizar).
- Minería de datos (búsqueda de patrones mediante métodos como clustering, regresión o clasificación).
- Interpretación de los patrones descubiertos.
- Actuación sobre los conocimientos descubiertos (uso práctico).

## Datos

### *Falta de datos*

Los datos no siempre están disponibles (por ejemplo, faltan valores registrados para varios atributos, tales como ingresos de clientes en datos de ventas). La falta de datos puede ser debida a:

- mal funcionamiento de equipos.
- inconsistencias con otros datos registrados (y, por lo tanto, se borran).
- datos que no se introducen por malentendidos.
- ciertos datos pueden ser considerados no relevantes en el momento de la entrada.
- no registrar la historia o cambios de los datos.

Los datos que faltan pueden necesitar ser inferidos.

Para manejar los datos que faltan, podemos intentar rellenarlos manualmente. Esto puede ser tedioso. Otra opción sería utilizar una constante global para rellenar el valor que falta (por ejemplo, “desconocido”). También podríamos utilizar la media del atributo para rellenar el valor que falta o utilizar la media del atributo para todas las muestras que pertenecen a la misma clase. Por último, podríamos utilizar el valor más probable calculado por Bayes o un árbol de decisión.

### *Integración de datos*

La integración de datos consiste en combinar múltiples fuentes en un almacén coherente. Hay que integrar los esquemas:

- integrar metadatos de diferentes fuentes
- problema de identificación de entidades: identificar entidades del mundo real de múltiples fuentes.

También hay que detectar y resolver los conflictos de valores de datos:

- en dos fuentes distintas, una misma entidad del mundo real tiene distintos valores para los mismos atributos.

- posibles razones: diferentes representaciones, diferentes escalas, etc. (por ejemplo, \$ vs. €).

## Data Warehouse

El Data Warehousing es el proceso de construcción y uso de Data Warehouses.

Es una colección de datos orientados a un tema concreto, dependiente del tiempo y no volátil, en apoyo del proceso de toma de decisiones en la gestión. El DW es una BD para la toma de daciones, que se mantiene de forma separada de la BD operacional de una organización. El DW sirve de apoyo al procesamiento de información al constituir una plataforma sólida de datos históricos y consolidados para el análisis.

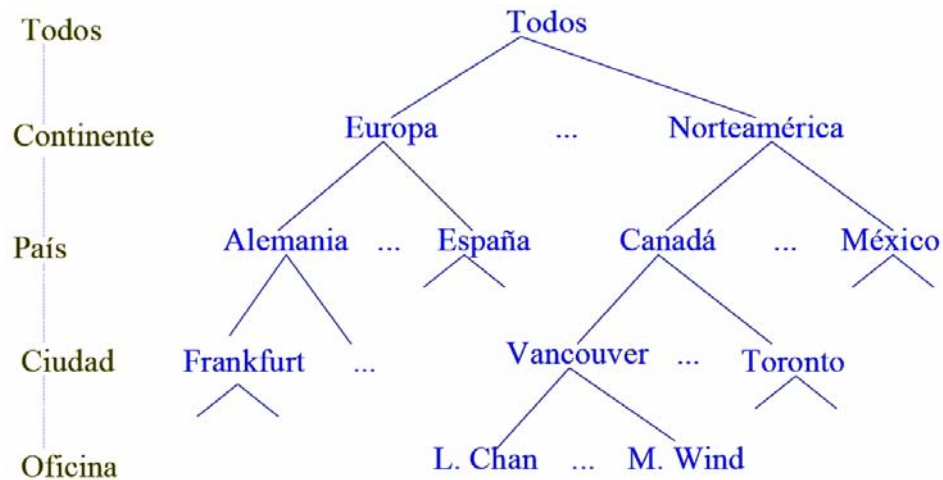
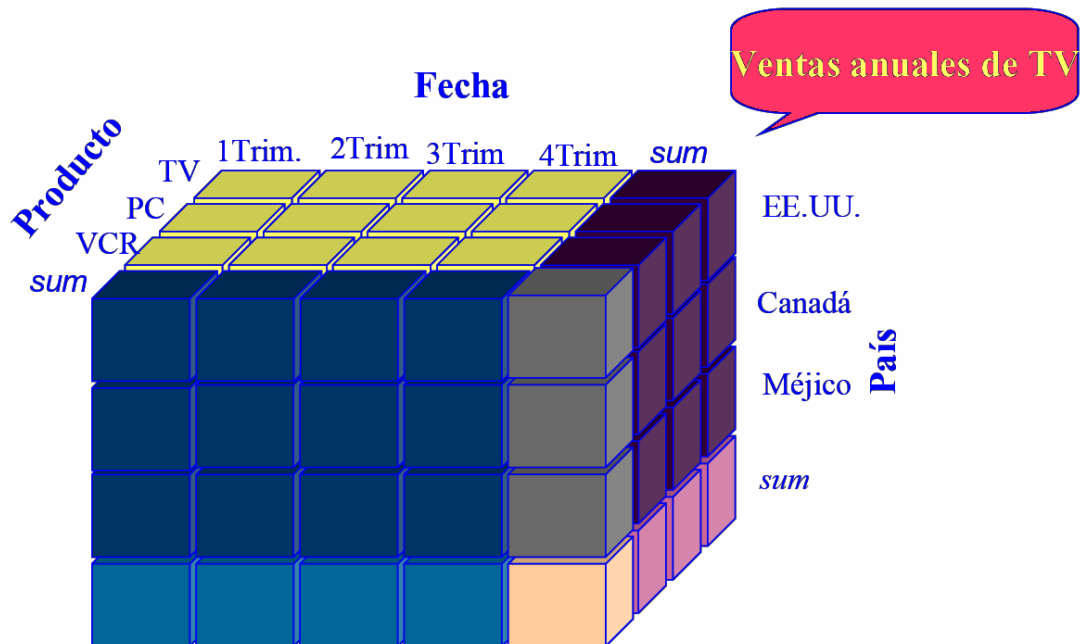
Los DW se organizan alrededor de temas de importancia (por ejemplo, clientes, productos, ventas, pacientes, etc.). Están centrados en la modelización y análisis de datos para toma de decisiones, no en operaciones rutinarios o transacciones normales. Permite una visión simple y concisa alrededor de ciertos temas mediante la exclusión de datos, que no van a ser utilizados en la toma de decisiones.

El DW está construido por la integración de fuentes múltiples de datos heterogéneos (BDR, ficheros ASCII, ficheros de otras aplicaciones). Se aplica la limpieza e integración de datos:

- asegura la consistencia en terminologías, códigos, medidas utilizadas para los atributos entre las diferentes fuentes.
- los datos transferidos al DW se convierten al nuevo modelo.

EL DW está diseñado para funcionamiento a largo plazo. Cada elemento del DW contiene una medida de tiempo. Además es un almacén de datos transformados del entorno operacional físicamente separado. La actualización de los datos no ocurre en el entorno del DW.

Se utiliza el diagrama en estrella. Hay 4 tipos de componentes: hechos, dimensiones, atributps y jerarquías de atributos.

*Ejemplo de Jerarquía de conceptos**Ejemplo de Cubo de datos**Estrategias de reducción de datos*

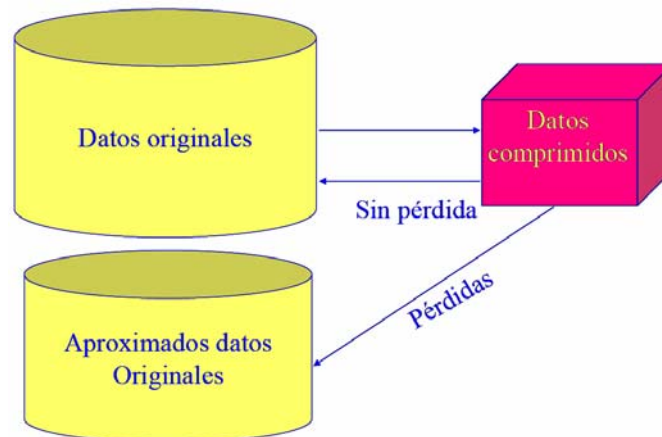
El Data Warehouse puede almacenar terabytes de datos: complejos análisis de datos y minería de datos pueden llevar mucho tiempo para ser llevados a cabo en el conjunto de datos completo.

La reducción de datos consiste en obtener una representación reducida del conjunto de los datos que es mucho más pequeño en volumen pero que produce los mismo resultados analíticos.

Estrategias de reducción de datos:

- agregación de cubos de dados.

- reducción de datos excesivos.
- generación de jerarquías de conceptos.



## Data Mining

Tipos de metas:

- verificación: comprobar una hipótesis planteada por el usuario.
- descubrimiento: el sistema encuentra nuevos conocimientos de forma autónoma.
- predictivo: pronóstico de comportamiento futuro de variables.

Tipos de DM:

- de consulta e informe: utilización de herramientas para hacer consultas mediante SQL y presentación de los resultados mediante tablas, diagramas o gráficos. Es útil para el modelo de minería de verificación.
- de IA:
  - árboles de decisión.
  - redes neuronales.
  - clustering.
  - lógica difusa.
- técnicas de análisis multidimensional: se construyen cubos con n-dimensiones que permiten obtener vistas bidimensionales (por ejemplo, ventas-región).

## Técnicas

**Clasificación y predicción:** Encontrar modelos (funciones) que describan y distingan clases o conceptos para predicciones futuras:

- por modelos (clasificar naciones según el clima o clasificar coches basados en kilometraje).
- presentación: árboles de decisión, diagramas de flujo, clasificación o redes de neuronas.
- predicción: predecir valores desconocidos o que faltan.

**Clustering**

- etiquetas de clases son desconocidas: agrupación de datos para formar nuevas clases (por ejemplo, cluster de casas para encontrar patrones de distribución).
- clustering basado en principios de maximizar las similitudes intra-clase y minimizar las inter-clases.

**Sintetización:** Métodos para encontrar una descripción compacta para un subconjunto de datos (por ejemplo, tabulación de medias y desviaciones típicas de todos los campos).

**Modelización de dependencias:** Descubrir modelos que descubran dependencias significativas entre variables (por ejemplo, redes probabilísticas).

*Méridas de interés en el DM***Medidas objetivas**

- simplicidad: cuanto más difícil es de interpretar el patrón o regla, menos interés tiene para su uso (por ejemplo, para asociación, longitud de un patrón en bits, longitud de las reglas – número de premisas/ejemplo –, para decisión, el tamaño y complejidad del árbol – número de nodos o de ramas –). El usuario puede determinar un umbral.
- certeza:
  - confianza: dada una regla  $A \rightarrow B$ , la confianza es  $\frac{tuplas(A \cap B)}{tuplas(A)}$ .
  - fiabilidad: número de errores.
- utilidad potencial:
  - función de utilidad: soporte. Dada una regla  $A \rightarrow B$ , la confianza es  $\frac{tuplas(A \cap B)}{n - tuplas}$ .
  - umbral de ruido: definido por el usuario.
- novedad: eliminación de patrones redundantes.

**Medidas subjetivas:** Una regla o patrón es interesante si:

- es inesperado (para el usuario).
- es práctico (el usuario puede hacer algo con él).

*Anomalías de reglas*

- “Deadends”, cuando las premisas “Si” no pertenecen a ninguna regla real.
- Reglas subsumidas, cuando dos reglas tienen los mismos resultados, pero una contiene restricciones adicionales en las mismas situaciones.
- Condiciones “Si” innecesarias.
- Reglas redundantes, cuando dos reglas ocurren en la misma situación y conducen a resultados iguales.
- Reglas circulares.



- Reglas conflictivas, cuando dos reglas ocurren en la misma situación pero con resultados contrapuestos.
- Conclusiones inalcanzables.
- Inconsistencias lógicas: para unos datos de entrada, las reglas pueden concluir un hecho y su contrario (es decir,  $\alpha$  y  $\neg\alpha$ ) o pueden concluir una restricción de integridad (algo que un experto ha confirmado que no puede ocurrir nunca, como “un cerdo puede volar”).

### *Razonamiento basado en casos*

Es una técnica alternativa a los sistemas expertos tradicionales, creada por Janet Kolodner.

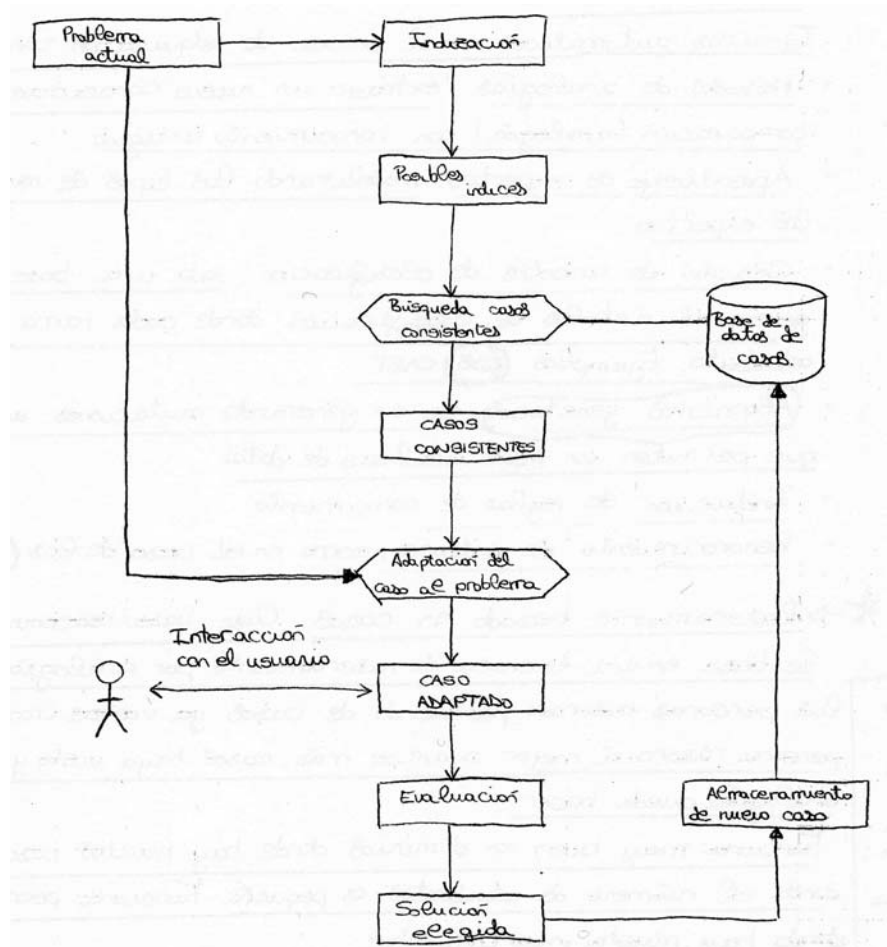
Se basa en una técnica de razonamiento por analogía. Según este modelo, el razonamiento humano (y su emulación en el ordenador) se basa en la comparación de un caso presente con otro pasado similar, más que en un proceso lógico o de búsqueda. Una persona razonará mejor, cuantos más casos haya visto y, por tanto, más analogías pueda hacer.

Funciona muy bien en dominios en lo que hay abundancia de casos equiparables con pocos atributos considerados (por ejemplo, en créditos bancarios, arquitectura o ingeniería), pero peor en dominios con elevada incertidumbre y/o difíciles de modelizar (por ejemplo, medicina o derecho penal).

Es un problema de clasificación en el que vamos a clasificar un caso dentro de una librería de casos. El problema principal es crear los índices que luego nos permitan caracterizar cada caso. Tendremos:

- atributos de los casos.
- atributos de la solución.
- método de comparación de los casos antiguos con el nuevo caso.

Dependiendo de la intervención del usuario, el proceso será supervisado o no supervisado.



## Tipos de razonamiento

### Clasificativo

Se clasifica un caso con un método de inferencia similar al aplicado con otros anteriores.

- Se basa (cuando es posible) en una modelización de los criterios que permiten asociar una clase a un caso particular.
- Generalmente, cada clase se representa por una colección de ejemplos.
- Un método de indexación recupera los casos semejantes a este nuevo ejemplo.

### Constructivo

Se aplica en problemas donde es necesario construir la solución (no está disponible).

### Estructura del modelo

- Se utiliza una base de datos (librería de casos), lo más amplia posible
- La BD contiene el problema como el modelo de razonamiento utilizado para resolverlo
- Cada caso nuevo es almacenado en la librería

- Con el tiempo, esta librería es suficientemente grande para analizar por analogía la mayor parte de casos nuevos posible
- Método de razonamiento y adquisición del conocimiento

## Conocimiento de adaptación

- Por sustitución
  - Reinstanciación (por ejemplo, CHEF).
  - Ajuste de parámetros (comparación cuantificada entre el caso analizado y el recuperado).
  - Sustitución de una parte de la solución (modificación del Razonamiento Basado en Casos con interacción del usuario).
- Otros métodos que transforman las soluciones partiendo de conocimiento externo, introducido en el sistema (por ejemplo, diferentes métodos de razonamiento).

## Ejemplo

En un centro sin criterios rígidos de aceptación, se analiza una solicitud, comparándola con casos previos. Se analizan casos previos, considerando una serie de características conocidas que llevaron a la aceptación o al rechazo de la solicitud.

Quiero saber si Juan entrará. Conocemos diversos factores: edad, formación pre-universitaria, calificación pre-universitaria, carácter, actitud, nivel de integración, nivel test, entorno familiar, decisión.

Se requiere indexar los casos anteriores y decidir la admisión del caso nuevo. Se consideran dos perspectivas: factores personales y factores académicos.

Conocemos cinco casos previos.						
	Antonia	Julian	Adela	Alvaro	Manuel	Juan (caso de estudio)
Edad	22 X	20	25	25	21	23
Carácter	serio	alegre X	serio	serio	serio	alegre
Actitud	dinámica	serena	serena	agresiva	serena	dinámica
Nivel de integración	alto	medio	bajo X	bajo X	alto	bajo
Entorno familiar	religioso media	agresivo modesta X	divorciado modesto X	religioso modesto	agresivo modesto X	agresivo modesto
Admisión?	Admitida (alto)	Admitido (bajo)	NO	Admitido (bajo)	NO	

No hay ningún caso idéntico. Vamos a probar con los factores académicos.

	Antonia	Julian	Adela	Alvaro	Manuel	Juan
Formación preuniv.	privado	instituto	privado	instituto	instituto	mixto
Clasificación preuniv.	notable	notable	aprobado X	aprobado X	aprobado X	aprobado
Test.	aprobado	notable X	notable X	aprobado	aprobado	notable

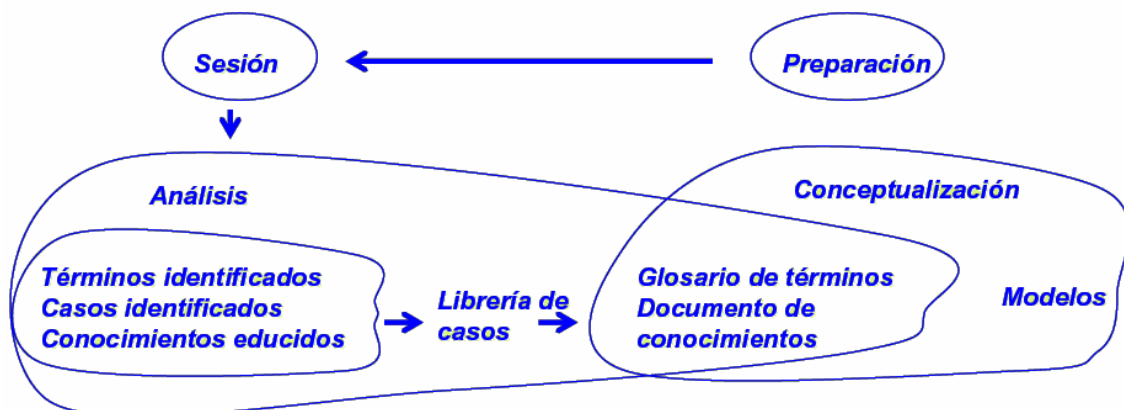
El caso más parecido es el de Adela y podríamos tener la sospecha de que no se acepte a Juan. No sabemos cuál fue el método de decisión real aplicado, pero tenemos construido un posible método para tomar la decisión.

## 2.4.2 Extracción (Fuentes de conocimiento)

- Libros
- Manuales
- Audio y vídeo
- WWW
- Documentos legales
- Sistemas on-line
- Documentación informal (notas, memos)
- Presentaciones (transparencias)
- Publicaciones (journals)
- Datos de investigación
- Visitas al centro
- Humanos: expertos, directivos, empleados, usuarios

## 2.5 Análisis de la adquisición de conocimiento

- Refinamiento del conocimiento adquirido.
- Organización del conocimiento.
  - Diccionario de términos.
  - Librería de casos.
  - Documento de conocimiento.



### 3 Ontologías

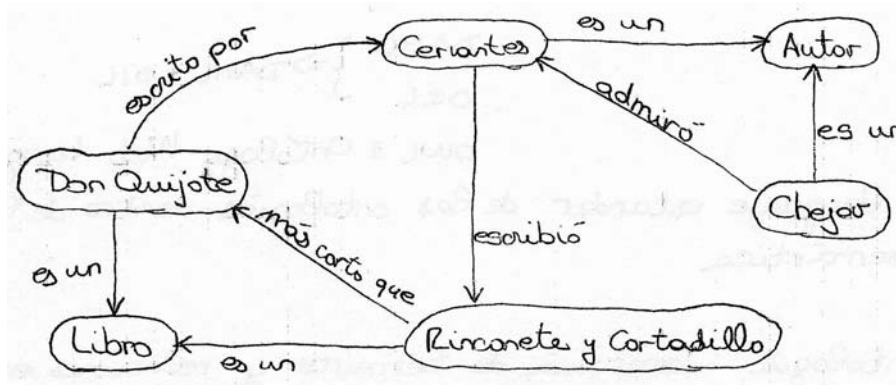
Hemos visto ya el proceso de adquisición del conocimiento. Hemos tratado ejemplos con personas (entrevistas, etc.) y con máquinas (minería de datos). Con todo esto hemos adquirido el conocimiento.

Ahora hay que hacer una conceptualización: crear una representación del conocimiento que sea reutilizable, que sea entendible por la máquina y que la máquina pueda manejarlo automáticamente.

Toda base de conocimiento va a tener una conceptualización específica de un dominio y esto es lo que se logra con el uso de las ontologías.



Antes de las ontologías se usó mapping de concepto (establecer relaciones entre conceptos)



Ontología significa “ el estudio del ser”, corresponde con un concepto filosófico.

La pregunta “¿Qué es el ser?” corresponde con una disciplina filosófica que es la metafísica (viene desde Aristóteles). Estudia las entidades que forman parte del universo y que podemos diferenciar. La ontología es lo que “es” las cosas que existen. La epistemología es lo que “conocemos”. Con las ontologías se busca compartir información que tenga algún significado.

Los antecedentes de las ontologías son las terminologías, los vocabularios controlados y los tesauros. Con las ontologías se busca una formalización de la información.

¿Por qué queremos compartir la información?

- Interoparebilidad entre sistemas informáticos.



- Recuperación de la información (recuperar los documentos que buscamos).
- Web semántica (recuperar sólo la información concreta que buscamos).
- Aplicaciones (por ejemplo, la minería de datos).

Se busca que la máquina pueda leer los datos, interpretarlos y recuperarlos mediante metadatos, semántica y ontologías (es lo que estructura la Web semántica).

### ***3.1 Metadatos***

- Son datos que describen otros datos.
- En este contexto:
  - Datos que describen recursos de la Web.
- La distinción entre datos y metadatos es relativa
  - Depende de la aplicación.
  - Los metadatos de una aplicación pueden ser los datos que maneja otra aplicación.
- Definir el contexto de uso.
- Facilitar el desarrollo colaborativo.
- Facilitar la revisión por otros colegas.

### ***3.2 Vocabularios y terminologías***

- Conceptos descritos con el detalle requerido para servir de soporte a una aplicación.
- Jerarquías flexibles.
- Abiertos y fácilmente escalables.
- Difíciles de crear conceptualmente.
- Terminologías creadas para un uso pueden ser inadecuadas para otras tareas.

### ***3.3 Web semántica***

Se intenta recuperar la información relevante de la búsqueda. Se busca tener información y que la propia máquina sea capaz de entenderla para poder hacer una interpretación de la misma y poder recuperarla.

#### **3.3.1 Características de la Web semántica**

- Uso de metadatos.
- Uso de semántica clara.
- Uso de ontologías, que son las que estructurarían la Web semántica.

### 3.3.2 Web actual vs. Web semántica

Web actual	Web semántica
<ul style="list-style-type: none"> <li>Datos manejados por personas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Información en vez de datos</li> <li>Accesible a humanos</li> <li>Accesible a máquinas.               <ul style="list-style-type: none"> <li>Lectura y acceso a datos</li> <li>Interpretación de los datos</li> </ul> </li> </ul>

### 3.3.3 Futuro de las ontologías

La Web semántica pretende crear un nuevo modelo estándar para el intercambio de información basado en representaciones del significado de las fuentes de información de la Web, de una manera inteligible para las máquinas. Se pretende ampliar la interoperabilidad entre los sistemas informáticos y reducir la participación humana en los procesos inteligentes relacionados con la información.

## 3.4 Meta-ontología

Describen metadatos acerca de ontologías y elementos asociados.

Ejemplos:

- Interoperabilidad entre dos ontologías.
- Uso en ontologías evolutivas.

## 3.5 Ontología

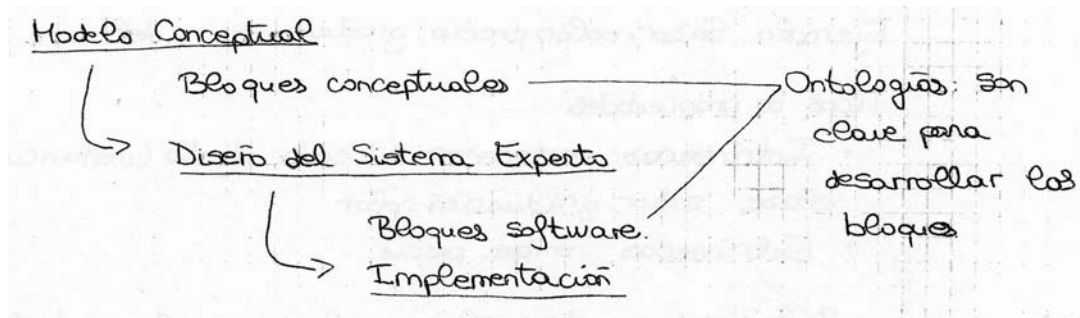
Jerarquía de términos y relaciones entre los términos. Con las ontologías se busca la reutilización del conocimiento.

Bloques de construcción (building blocks): formados por el conocimiento declarativo y el conocimiento procedimental.

Cuando se crea una Base de Conocimientos, se crea una ontología. Se puede crear de distintas formas:

- creando una nueva ontología.
- reutilizando una ontología ya creada.
- modificando una ontología previa.
- uniendo varias ontologías previas.

Teniendo el modelo conceptual, vamos a diseñar el sistema experto y luego vamos a hacer la implementación



### 3.5.1 Definición

Una ontología es una especificación explícita y formal de una conceptualización compartida.

*explícita*: no hay conocimiento oculto, el conocimiento se puede tratar.

*formal*: son reglas que se pueden comprender.

*conceptualización*: analizar y comprender los elementos del dominio.

*compartida*: varias personas que lo conocen y hay un consenso acerca de los significados de los conceptos por personas y ordenadores.

### 3.5.2 Componentes de una ontología

Ontologías ligeras:

- conceptos
- jerarquía es un
- relaciones entre conceptos

Ontologías pesadas:

- metaclases
- restricciones en las relaciones
- taxonomías
- axiomas
- bases para inferencias

### Conceptos

clases, entidades primarias del mundo (animal, persona, célula, ...). Aunque también pueden ser eventos o tareas.

### Propiedades

Propiedades asociadas a los conceptos atributos, propiedades de las clases (forma, localización, ...).

## **Relacion**

Cómo una clase se relaciona (enlaza) con otra. Se establecen múltiples relaciones.

Las relaciones son semánticas. Algunas posibles relaciones son:

- es un (taxonomía)
- transformación de
- localizado en
- parte de
- deriva de
- procedido de
- informa a
- compra a
- vende a
- vive en

## ***Taxonomía***

Orden de generalización entre conceptos (es-un, parte-de, subprograma)

## **Axioma**

Proposiciones más complejas desde el punto de vista lógico.

## **Clase**

Concepto en un dominio. Conjuntos de elementos que comparten una serie de propiedades.

Ejemplos:

- Una clase de vino.
- Una clase de uva.
- Una clase de bodegas.
- Una clase de vino tinto (subclase de vinos)

## ***Propiedades de la clase (Slots)***

Los slots describen atributos de instancias de clases y relaciones con otras instancias.

Ejemplos: sabor, color, precio, graduación... del vino.

Tipos de propiedades:

- **Propiedades intrínsecas:** pertenecen a cada objeto (instancia) de la clase -> sabor, graduación, color.
- **Propiedades extrínsecas:** nombre, precio.

- **Partes:** ingredientes de un plato.
- **Relaciones con otros objetos:** productor de vino (bodega).

Propiedades simples y complejas:

- **Propiedades simples (atributos):** contienen valores de primitivas (strings, números).
- **Propiedades complejas:** contienen (o apuntan) a otros objetos (por ejemplo, una instancia de bodega).

### *Herencia de clases*

Las clases constituyen usualmente una jerarquía taxonómica (una jerarquía de superclase y subclases).

Una jerarquía de clases es usualmente una jerarquía IS-A (es-un).

Si se considera una clase como un conjunto de elementos, una subclase es un subconjunto.

Una subclase hereda todos los slots de una superclase.

Si una clase tiene múltiples superclases, hereda los slots de todas.

Ejemplos:

- Manzana es una subclase de fruta (todas las manzanas son frutas).
- El vino tinto es una subclase de vino (todos los vinos tintos son vinos).
- El vino merlot de Rioja es una subclase de vino tinto (todos los vinos tintos merlot de Rioja son una subclase de vino tinto).
- Si un vino tinto tiene nombre y sabor, entonces el vino tinto tiene nombre y sabor.
- El oporto es un vino de postre y también es un vino tinto. Por ello, el oporto hereda el contenido de azúcar alto de los vinos de postre y hereda el color rojo de los vinos tintos.

### *Instancia*

Elemento concreto de una clase

Ej: Un vaso de vino tinto.

### Terminología

Conjunto de términos que representa el sistema de conceptos de un campo particular.

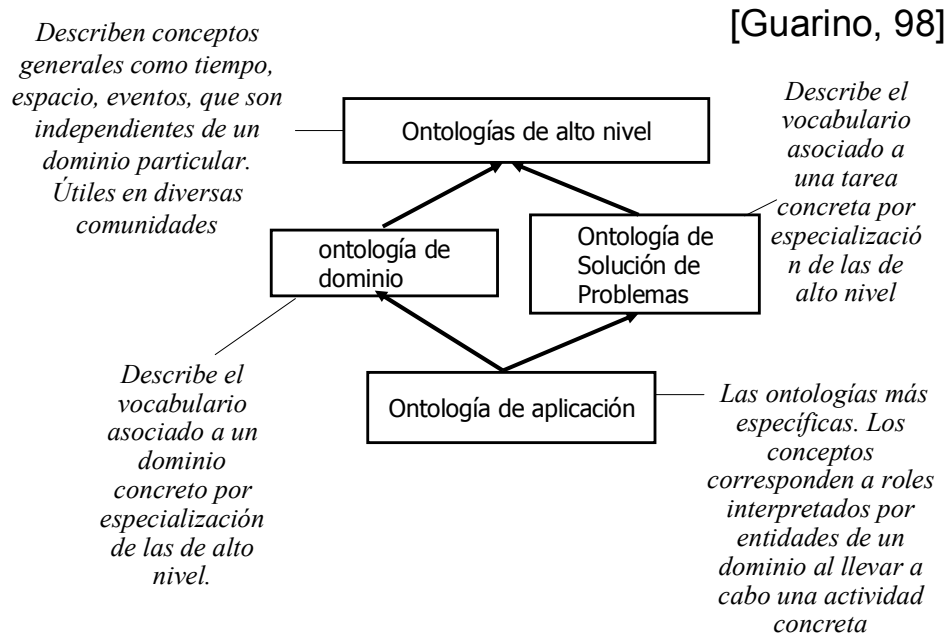


## Vocabulario

Diccionario que contiene términos.

### 3.5.3 Tipos de ontologías

- **Ontologías de alto nivel (genéricas):** Describen conceptos generales que son independientes de un dominio particular.
- **Ontologías del dominio:** Describen el vocabulario asociado a un dominio concreto (biología, medicina, química, ...)
- **Ontologías de solución de problemas:** Técnicas para resolver problemas.
- **Ontologías de aplicaciones:** Técnicas para aplicaciones concretas.



## Ejemplos

Ontologías generales:

- DMOZ ([www.dmoz.org](http://www.dmoz.org))
- WordNet ([www.cogsci.princeton.edu/~wn/](http://www.cogsci.princeton.edu/~wn/))

Ontologías de dominio:

- Red semántica del UMLS
- GO (Gene Ontology) ([www.geneontology.org](http://www.geneontology.org))
- GLIF
- HL7

### 3.5.4 Editores

- Protegé
  - Permite edición de ontologías
  - Creación de herramientas de adquisición de conocimiento (mediante formularios relacionados con las ontologías descritas).
  - Creación de bases de conocimiento (mediante la entrada de instancias particulares de los datos de la ontología).
  - Ejecución de aplicaciones que operen sobre la base de conocimiento.
  - Tiene una colección interesante de Plug-ins.
- WebOde
- SWOOP
- KAON2

### 3.5.5 Lenguajes de ontologías

- Nivel de expresividad
- Mecanismos de inferencia asociados
- Herramientas que lo soportan
- Intercambio entre aplicaciones

### Evolución de los lenguajes de ontologías

Lenguajes tradicionales:

- KIF
- Ontolingua (basado en KIF)
- LOOM
- OKBC
- OCML
- FLogic

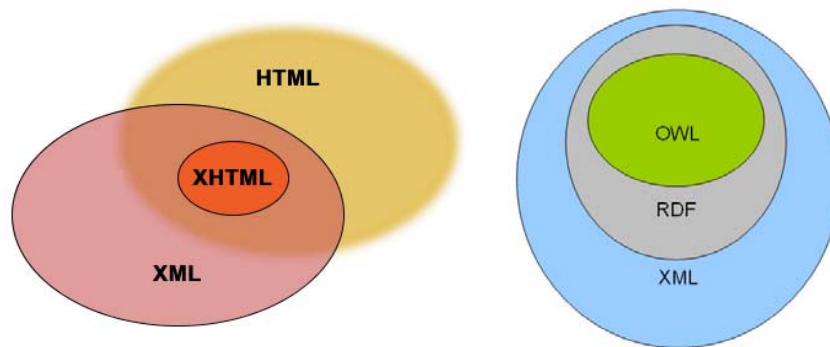
En los 90:

- Knowledge Representation (KR).
- Lenguajes basados en lógica de primer orden y frames.

Finales de los 90 y actualmente:

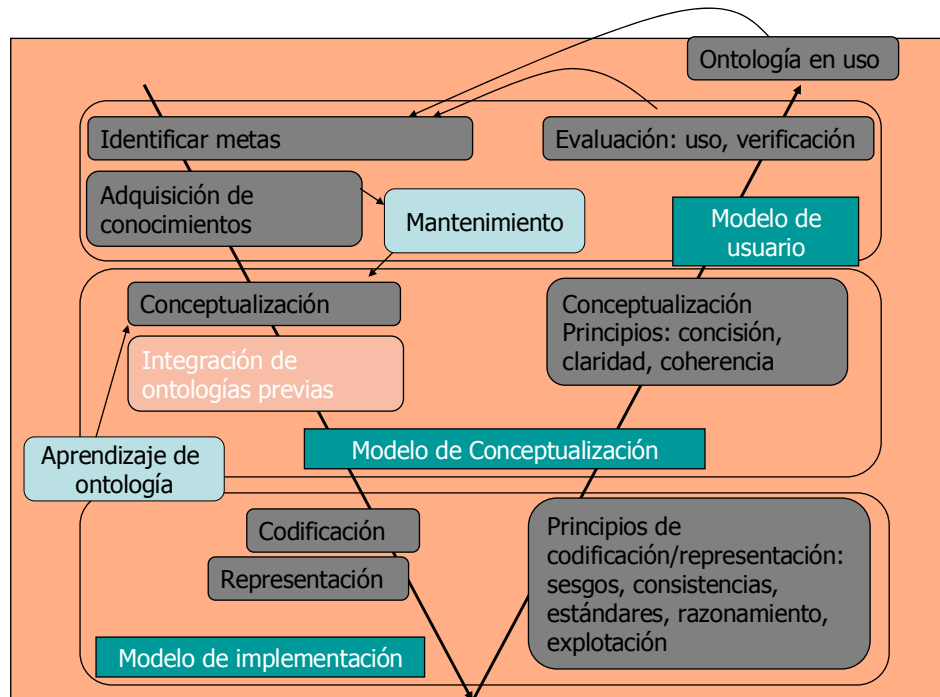
- Lenguajes basados en marcado (HTML y XML)
- SHOE (1996)
- XOL (1999)
- RDF (del W3C).
- RDFS (RDF Schema)
  - Capaz de definir relaciones entre propiedades y recursos.
  - Recomendación del W3C.
- DAML+OIL

- Proyecto DARPA.
- Unión de 2 lenguajes.
- Basado en RDF(S).
- Mayor capacidad de expresión e inferencia.
- OWL
  - Lenguaje adoptado actualmente (desde 2003).
  - Derivado y reemplazando a DAML+OIL.
  - Recomendación de W3C.
- JENA 2.3 (HP)
  - Java
  - API para desarrollar ontologías.
  - RDF(S), DAML+OIL y OWL.



OWL	DAML + OIL	OIL	DAML	...	2000 – Actualidad
RDF Schema					1999 – 2003
Resource Description Framework (RDF)					1997 – 1999
XML – Self-decrypting files					
UNICODE		URI			

### 3.5.6 Método de construcción de ontologías



#### Pasos para la construcción de ontologías

##### *Paso 1*

Determinar el dominio y el alcance de la ontología.

- ¿Cuál es el dominio de la ontología?
- ¿Cuál es el uso de la ontología?
- ¿Para qué tipo de preguntas, la información de la ontología debe proporcionar respuestas?

##### *Paso 2*

Reutilizar ontologías ya existentes, cuando sea posible.

##### *Paso 3*

Definir conceptos, propiedades, relaciones, establecer una jerarquía.

##### *Paso 4*

Definir las clases y la jerarquía de las clases.

Hay varias formas de desarrollar la jerarquía:

- de arriba-abajo (top-down).

- de abajo-arriba.
- combinación de las anteriores.

### **Ciclo de vida**

1. Identificar las metas de nuestro sistema.
2. Adquirir conocimientos.
3. Conceptualización del conocimiento (vemos si es posible hacer un mapping con otras ontologías previas).

### **Criterios de diseño**

- **Claridad:**
  - Una ontología no debe tener ambigüedades en el significado de sus términos.
  - Las definiciones deben ser objetivas.
- **Coherencia:** El diseño debe permitir hacer inferencias consistentes con las definiciones.
- **Extensibilidad:** Deben permitir futuras ampliaciones.
- **Diferenciación ontológica:** las clases de la ontología deben estar claramente separadas.
- **Diversificación de las jerarquías:** permitiendo mecanismos de herencia múltiple.
- **Minimizar la distancia semántica entre conceptos similares:** los conceptos similares deben ser agrupados y representados utilizando las mismas primitivas.
- **Estandarización de los términos.**
- **Multiplicidad:** puede ser necesario combinar dos o más ontologías para tener la representación tan completa como deseamos.
- **Mapping:** se pueden establecer relaciones entre elementos de ontologías diferentes para definir conexiones.
- **Reutilización:** para optimizar esfuerzo, interactuar con las herramientas que usan otras ontologías y usar ontologías ya validadas en otras aplicaciones.

### ***Posibles errores en las ontologías***

- redundancia
- inconsistencias: existen métodos para verificar de forma lógica las consistencias.
- ambigüedad semántica: varios términos representan el mismo concepto.

### **3.5.7 Aplicaciones**

- Integración de datos.
- Procesamiento de datos (KDD).
- Recuperación de información.
- Visualización de un dominio.